



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos



TESE DE DOUTORADO

**PROCESSOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA UMBUZADA EM PÓ
LIOFILIZADA, COMPOSTA DE POLPA DE UMBU, EXTRATO DE SOJA
E RAPADURA**

José Carlos Ferreira

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata – UFCG
(Orientador)

Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte – UFCG
(Orientadora)

**Campina Grande, PB
Agosto/2011**

José Carlos Ferreira

**PROCESSOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA UMBUZADA EM PÓ LIOFILIZADA,
COMPOSTA DE POLPA DE UMBU, EXTRATO DE SOJA E RAPADURA**

**Tese apresentada ao Programa de
Doutorado em Engenharia de Processos
da Universidade Federal de Campina
Grande, em cumprimento às exigências
para obtenção do título de Doutor**

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos

**Orientadores: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata
Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte**

Campina Grande, 05 de agosto de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F383p

Ferreira, José Carlos.

Processos para o desenvolvimento da umbuzada em pó liofilizada,
Composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura / José Carlos
Ferreira. - Campina Grande, 2011.

295 f.: il. col.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal
de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Orientadores: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata,
Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte.

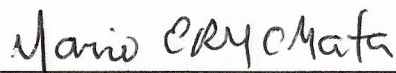
Referências.

1. Propriedades Termofísicas. 2. Sensorial. 3. Reologia. 4.
Armazenamento. 5. Congelamento. 6. Liofilização. I. Título.

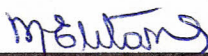
CDU 66-97 (043)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE **JOSÉ CARLOS FERREIRA** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

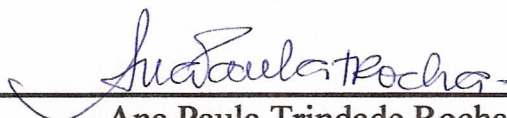
Tese de doutorado **aprovada** em 05 de agosto de 2011



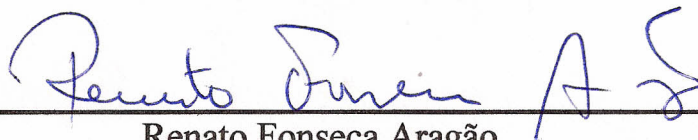
Mário Eduardo R M Cavalcanti Mata
UFCG-Orientador



Maria Elita Martins Duarte
UFCG-Orientadora



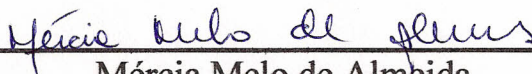
Ana Paula Trindade Rocha
UFCG-Examinadora Externa



Renato Fonseca Aragão
UFCG-Examinador Externo



Severina de Sousa
CNPq-Examinadora Externa



Mércia Melo de Almeida
UFCG-Examinadora Externa

Campina Grande, agosto de 2011
PB, Brasil

DEDICO

A minha mãe, **Maria Ferreira de
Araújo**, “in memoriam”

Agradecimentos

A **Deus**, por me permitir realizar este sonho.

A minha mãe, **Maria Ferreira de Araújo**, pelo seu amor, dedicação e doação de vida, e ao meu pai, **Carlos Ferreira Neto** pelo exemplo de vida e perseverança.

A minha esposa, **Paula Francinete Campos Ferreira** e a meus filhos, **Luana de Paula Campos Ferreira** e **Lueder Campos Ferreira**.

Aos professores orientadores, **Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata** e à **Dra. Maria Elita Martins Duarte**, pela orientação, apoio e amizade durante a realização deste trabalho.

Ao **Engº Dr. Renato Fonseca Aragão** e aos Professores **Dra. Ana Paula Trindade Rocha**, **Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida**, **Dra. Rossana Maria F. de Figueirêdo** e **Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**, pela valiosa contribuição.

Aos Diretores do IF-Campus de Belo Jardim, Professor **Geraldo Vieira da Costa** (**Diretor geral**), e **Carlos Alberto** (**Diretor de ensino**) pelo apoio em prol da realização deste trabalho.

À Coordenação de Pós-graduação em Engenharia de Processos, ao Professor **Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima** e aos Professores, que de forma direta ou indireta, colaboraram na concretização deste trabalho.

Aos meus colegas **Francisco Fechine**, **Marcos Germano**, **José de Assis França**, **Flávia** e **João Carlos** pelo companheirismo, contribuições e troca de informações.

À **CAPES**, que possibilitou financeiramente a concretização deste sonho.

A **Cândido José**, pela ajuda nas análises físico-químicas.

Aos Servidores e alunos do IF-Campus de Belo Jardim, por contribuírem para a realização das minhas análises sensoriais.

Aos Servidores e alunos da Escola Estadual João Monteiro de Melo – Belo Jardim, por participarem da análise sensorial.

Ao **Engº Paulo de Almeida Farias**, pelo apoio e profissionalismo durante minhas atividades no bloco CZ.

A todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xix
RESUMO.....	xxii
SUMMARY.....	xxiii
APRESENTAÇÃO.....	xxiv
 CAPÍTULO 1 – Processamento do extrato de soja, polpa de umbu e das formulações para umbuzada: Propriedades termofísicas, características físico-químicas e análise sensorial.....	 1
1.1 – INTRODUÇÃO	2
1.1.1 – Justificativa	4
1.1.2 – Objetivo	5
1.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
1.2.1 – Introdução da soja e do extrato de soja no Brasil	6
1.2.2 – Fatores nutricionais da soja	7
1.2.3 – Composição nutricional do extrato de soja.....	7
1.2.4 – Soja como alimento funcional	8
1.2.5 – Processamento da soja para obtenção do extrato hidrossolúvel	10
1.2.5.1 – Hidratação dos grãos de soja (maceração)	10
1.2.5.2 – Branqueamento dos grãos de soja	11
1.2.5.3 – Desintegração dos grãos de soja com água	11
1.2.5.4 – Tratamento térmico.....	11
1.2.6 – Propriedades termofísicas.....	12
1.2.6.1 – Difusividade térmica.....	12
1.2.6.2 – Calor específico	13
1.2.6.3 – Massa específica	14

1.2.6.4 – Condutividade térmica.....	15
1.2.7 – Características sensoriais	16
1.2.7.1 – Cor	16
1.2.7.2 – Aroma	17
1.2.7.3 – Sabor	18
1.3 – MATERIAL E MÉTODOS	20
1.3.1 – Matéria prima	20
1.3.2 – Equipamento utilizado durante o experimento	20
1.3.3 – Descrição do processo	22
1.3.4 – Formulação da umbuzada	22
1.3.5 – Determinação das características físico-químicas	23
1.3.5.1 – Proteína bruta.....	23
1.3.5.2 – Carboidratos	23
1.3.5.3 – Lipídios.....	23
1.3.5.4 – pH	23
1.3.5.5 – Acidez total titulável.....	24
1.3.5.6 – Cinzas	24
1.3.5.7 – Teor de água	24
1.3.5.8 – Valor calórico	24
1.3.6 – Determinação das propriedades termofísicas	25
1.3.6.1 – Difusividade térmica.....	25
1.3.6.2 – Calor específico	26
1.3.6.3 – Massa específica	28
1.3.6.4 – Condutividade térmica.....	28
1.3.7 – Análise sensorial.....	29
1.3.8 – Análise estatística	29
1.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
1.4.1 – Caracterização físico-química da polpa de umbu.....	30
1.4.2 – Determinação das propriedades termofísicas	31
1.4.3 – Análise sensorial.....	33
1.5 – CONCLUSÕES.....	35
1.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

CAPÍTULO 2 – Comportamento reológico da polpa de umbu, extrato de soja e das três formulações da umbuzada	44
2.1 – INTRODUÇÃO	45
2.1.1 – Objetivo	46
2.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	47
2.2.1 – Reologia.....	47
2.2.1.1 – Viscosidade.....	47
2.2.1.2 – Classificação reológica dos fluidos	48
2.2.1.2.1 – Fluidos newtonianos	48
2.2.1.2.2 – Fluidos não-newtonianos	49
2.2.1.2.3 – Fluidos viscoelásticos	50
2.2.1.4 – Fluidos dependentes do tempo	50
2.2.1.4.1 – Fluidos tixotrópicos	51
2.2.1.4.2 – Fluidos reopéticos.....	51
2.2.1.5 – Fluidos independentes do tempo	52
2.2.1.5.1 – Fluidos pseudoplásticos	52
2.2.1.5.2 – Fluidos dilatantes	53
2.2.1.5.3 – Fluidos de Bingham.....	53
2.2.1.6 – Modelos reológicos.....	53
2.2.1.6.1 – Modelo de Ostwald-De-Waale (Lei da Potência).....	54
2.2.1.6.2 – Modelo de Casson	55
2.2.1.7 – Influência da temperatura sobre o comportamento reológico	56
2.2.1.8 – Estudos reológicos de sucos e purês de frutas	57
2.3 – MATERIAL E MÉTODOS	58
2.3.1 – Matéria prima	58
2.3.2 – Caracterização reológica do extrato de soja, polpa de umbu e das três formulações da umbuzada	58
2.3.4 – Tensão de cisalhamento.....	59
2.3.5 – Modelagem matemática.....	60
2.3.6 – Análise dos dados experimentais.....	60
2.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
2.5 – CONCLUSÕES.....	69

2.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
 CAPÍTULO 3 – Avaliação físico-químicas, sensorial e microbiológica da umbuzada congelada a baixas temperaturas, durante a armazenagem frigorífica	 76
3.1 – INTRODUÇÃO	77
3.1.1 – Objetivo	78
3.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	79
3.2.1 – Aspectos tecnológicos do umbu	79
3.2.2 – Extrato de soja	79
3.2.3 – Rapadura.....	80
3.2.4 – Métodos de conservação por congelamento	80
3.2.4.1 – Congelamento lento.....	82
3.2.4.2 – Congelamento rápido.....	83
3.2.4.3 – Congelamento ultra-rápido	84
3.2.4.4 – Armazenagem a frio	86
3.2.4.5 – Cinética de congelamento.....	86
3.2.5 – Análises microbiológicas.....	88
3.2.6 – Características sensoriais	88
3.3 – MATERIAL E MÉTODOS	89
3.3.1 – Matéria prima	89
3.3.2 – Cinética de congelamento.....	89
3.3.3 – Métodos de congelamento inicial	91
3.3.3.1 – Congelamento a -20 °C (em freezer)	91
3.3.3.2 – Congelamento a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C.....	91
3.3.3.3 – Congelamento a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C.....	91
3.3.4 – Determinação das características físico-químicas	92
3.3.5 – Análises microbiológicas.....	92
3.3.5.1 – Coliformes a 35 °C e a 45 °C	92
3.3.6 – Análise sensorial.....	92
3.3.7 – Análise dos dados experimentais.....	92

3.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
3.4.1 – Cinética de congelamento	94
3.4.2 – Alterações físico-químicas das três formulações da umbuzada durante o armazenamento frigorificado	102
3.4.3 – Análise microbiológica	125
3.4.4 – Análise sensorial	126
3.5 – CONCLUSÕES	131
3.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
CAPÍTULO 4 – Características físico-químicas e sensoriais da umbuzada em pó obtida pelo processo de liofilização	139
4.1 – INTRODUÇÃO	140
4.1.1 – Objetivo	142
4.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICAS	143
4.2.1 – Liofilização	143
4.2.1.1 – Fundamentos físicos da liofilização	144
4.2.1.2 – Estágio de congelamento	145
4.2.1.3 – Estágio de secagem primária	146
4.2.1.4 – Estágio de secagem secundária	146
4.2.2 – Cinética de liofilização	147
4.2.2.1 – Modelo de Cavalcanti Mata para liofilização	147
4.2.2.2 – Modelo de Midilli	148
4.2.2.3 – Modelo de Page	148
4.3 – MATERIAL E MÉTODOS	150
4.3.1 – Matéria prima	150
4.3.2 – Cinética de liofilização	150
4.3.3 – Determinação das características físico-químicas	151
4.3.4 – Análise sensorial	151
4.3.5 – Análise dos dados experimentais	152
4.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	153
4.4.1 – Cinética de liofilização	153
4.4.2 – Característica físico-química das formulações da umbuzada	162

4.4.3 – Característica físico-química da umbuzada liofilizada.....	164
4.4.3 – Análise sensorial.....	166
4.5 – CONCLUSÕES.....	168
4.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
APÊNDICE A1	175
APÊNDICE B2.....	204
APÊNDICE C3	208
APÊNDICE D4	290

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 -	Equipamento em escala laboratorial para obtenção do extrato de soja.....	21
Figura 1.2 -	Fluxograma do processo para obtenção do extrato de soja.....	21
Figura 1.3 -	Esquema utilizado para determinação da difusividade térmica (DICKERSON, 1965).....	26
Figura 1.4 -	Calorímetro de mistura.....	27
Figura 2.1 -	Reograma para fluidos dependentes do tempo.....	50
Figura 2.2 -	Reogramas para vários tipos de fluidos independentes do tempo..	52
Figura 2.3 -	Reogramas de fluidos de Ostwald ou lei da Potência: I, II, III pseudoplásticos com $0 < n < 1$; a, b, c dilatantes com $n > 1$	55
Figura 2.4 -	Viscosímetro rotacional BROOKFIELD RV – DVII.....	58
Figura 2.5 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação do extrato de soja com ajuste pelo modelo de Casson.....	65
Figura 2.6 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de umbu com ajuste pelo modelo da Lei da Potência	66
Figura 2.7 –	Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da formulação F1 com ajuste pelo modelo de Casson.....	66
Figura 2.8 –	Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da formulação F2 com ajuste pelo modelo da Lei da Potência.....	67

Figura 2.9 –	Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da formulação F3 com ajuste pelo modelo da Lei da Potência.....	68
Figura 3.1 -	Evolução da temperatura durante o congelamento de um produto biológico com resfriamento lento (a), rápido (b) e ultrarápido (c). Fonte: Fenemma (1996).....	81
Figura 3.2 -	Unidades principais de cristalização. (a) cristais regulares Hexágonos, (b) diedros irregulares, (c) unidades esféricas. Fonte: (COLLA e HERNÁNDEZ, 2003).....	82
Figura 3.3 -	Curvas de congelamento de: (a) água pura e (b) uma solução diluída de sacarose	87
Figura 3.4 -	Procedimentos de determinação da cinética de congelamento realizada na amostra (cesta de arame, termopar e medidor de temperatura).....	90
Figura 3.5 -	Curva de congelamento das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada a -20 °C.....	95
Figura 3.6 -	Curva de congelamento das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, na -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) congelada até -50 °C.....	98
Figura 3.7 -	Curva de congelamento três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada a -196 °C (imersão de nitrogênio líquido) congelada até -50 °C.....	100
Figura 3.8 -	Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores das proteínas das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e	

	armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	104
Figura 3.9 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre os valores dos carboidratos das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	107
Figura 3.10 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre os valores dos lipídios das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	110
Figura 3.11 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre os valores do pH das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	112
Figura 3.12 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre os valores da acidez total titulável das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	115
Figura 3.13 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre os valores de cinzas das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	117

Figura 3.14 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre o teor de água das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	120
Figura 3.15 -	Efeito da temperatura de congelamento sobre o valor calórico das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C pelo período de tempo de 120 dias.....	123
Figura 4.1 -	Diagrama de fases da água mostrando a sublimação do gelo.....	144
Figura 4.2 -	Liofilizador Marca TERRONI*FAUVEL – LB 1500.....	150
Figura 4.3 -	Fluxograma das operações que serão realizadas para obtenção da umbuzada em pó pelo processo de liofilização.....	151
Figura 4.4 -	Razão de temperatura (RT) em função do tempo de secagem da formulação F1 com 70% extrato de soja e 30% de polpa de umbu congelada a -20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50 °C.....	154
Figura 4.5 -	Razão de temperatura (RT) em função do tempo de secagem da formulação F2 com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu congelada a -20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50°C..	154
Figura 4.6 -	Razão de temperatura (RT) em função do tempo de secagem da formulação F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu congelada a -20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50 °C	155
Figura 4.7 -	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da	

	umbuzada, congelada a -20 °C ajustada através do Modelo de Cavalcanti Mata.....	156
Figura 4.8 -	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -20 °C ajustada através do Modelo de Midilli e Kucuk.....	156
Figura 4.9 -	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -20 °C ajustada através do Modelo de Page.....	157
Figura 4.10 -	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C, ajustada através do Modelo de Cavalcanti Mata.....	157
Figura 4.11	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C, ajustada através do Modelo de Midilli e Kucuk.....	158
Figura 4.12.	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C, ajustada através do Modelo de Page.....	158
Figura 4.13.	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -196 °C (imersão de nitrogênio líquido) até -50 °C, ajustada através do Modelo de Cavalcanti Mata.....	159
Figura 4.14.	Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -196 °C (imersão de nitrogênio líquido)	

até -50 °C, ajustada através do Modelo de Midilli e Kucuk..... 159

Figura 4.15. Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -196 °C (imersão de nitrogênio líquido) até -50 °C, ajustada através do Modelo de Page..... 160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 -	Composição química média do extrato de soja em comparação ao leite de vaca.....	8
Tabela 1.2 -	Formulações utilizadas para composição da umbuzada.....	22
Tabela 1.3 -	Valores médios das características físico-químicas da polpa de umbu	30
Tabela 1.4 -	Comparação entre as médias dos parâmetros físico-químicos dos grãos de soja e do extrato de soja nas diferentes proporções de soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).....	31
Tabela 1.5 -	Valores médios das propriedades termofísicas da polpa de umbu extrato de soja e formulações da umbuzada.....	32
Tabela 1.6 -	Comparação entre as médias e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma e sabor para as diferentes proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12) e para as três formulações da umbuzada.....	34
Tabela 2.1 -	Fatores de conversão para os spindles do viscosímetro Brookfield-RVT.....	59
Tabela 2.2 -	Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson coeficientes de determinação e desvios percentuais médios.....	62
Tabela 2.3 -	Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson coeficientes de determinação e desvios percentuais médios.....	63

Tabela 2.4 -	Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson coeficientes de determinação e desvios percentuais médios.....	63
Tabela 2.5 -	Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson coeficientes de determinação e desvios percentuais médios.....	64
Tabela 3.1 -	Propriedades dos líquidos criogênicos utilizados na indústria de alimentos.....	85
Tabela 3.2 -	Valores dos coeficientes da curva de congelamento a -20 °C, difusividade efetiva (α) difusividade efetiva média (α_m) para as três formulações da umbuzada.....	97
Tabela 3.3 -	Valores dos coeficientes da curva de congelamento a-170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C, difusividade efetiva (α), difusividade efetiva média (α_m) para as três formulações da umbuzada	99
Tabela 3.4 -	Valores dos coeficientes da curva de congelamento a-196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C, difusividade efetiva (α), difusividade efetiva média (α_m) para as três formulações da umbuzada.....	101
Tabela 3.5 -	Valores médios de proteína (%) das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	103
Tabela 3.6 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de proteínas das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas	

	estudadas.....	105
Tabela 3.7 -	Valores médios dos carboidratos (%) das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	106
Tabela 3.8 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) dos carboidratos das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	108
Tabela 3.9 -	Valores médios dos lipídios das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	109
Tabela 3.10 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) dos lipídios das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	111
Tabela 3.11 -	Valores médios do pH das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	112
Tabela 3.12 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do pH das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	113
Tabela 3.13 -	Valores médios da acidez total titulável (% de ácido cítrico) das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	114

Tabela 3.14 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) da acidez total titulável das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	116
Tabela 3.15 -	Valores médios de cinza das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	117
Tabela 3.16 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de cinza das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	118
Tabela 3.17 -	Valores médios do teor de água das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	119
Tabela 3.18 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do teor de água das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	122
Tabela 3.19 -	Valores médios do valor calórico das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias.....	123
Tabela 3.20 -	Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do valor calórico das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas.....	125
Tabela 3.21 -	Análises microbiológicas das formulações (F1, F2 e F2) da	

	umbuzada congelada nas temperaturas em estudo e armazenada durante 120 dias.....	126
Tabela 3.22 -	Valores médios do atributo cor e coeficiente de concordância (CC) em percentual para as formulações da umbuzada (F1, F2 e F3) congeladas a -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C....	127
Tabela 3.23 -	Valores médios do atributo aroma e coeficiente de concordância (CC) em percentual para as formulações da umbuzada (F1, F2 e F3) congeladas a -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C....	128
Tabela 3.24 -	Valores médios do atributo sabor e coeficiente de concordância (CC) em percentual para as formulações da umbuzada (F1, F2 e F3) congeladas a -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C....	130
Tabela 4.1 -	Parâmetros dos modelos matemáticos e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -20 °C (freezer).....	161
Tabela 4.2 -	Parâmetros dos modelos matemáticos e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -170 °C (vapor do nitrogênio líquido) até -50 °C.....	161
Tabela 4.3 -	Parâmetros dos modelos matemáticos e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -196 °C (imersão de nitrogênio líquido) até -50 °C.....	162
Tabela 4.4 -	Caracterização das formulações da umbuzada.....	163

Tabela 4.5 -	Caracterização da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.....	165
Tabela 4.6 -	Coeficiente de concordância (CC) em percentual quanto aos atributos aroma, cor e sabor, atribuídos aos pós das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada liofilizada para as diferentes temperaturas de congelamento.....	166
Tabela 4.7 -	Valores médios dos atributos aroma, cor e sabor das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada liofilizada congeladas a (-20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50 °C).....	206

LISTA DE SÍMBOLOS

K	– Condutividade térmica, $\text{W m}^{-1}\text{°C}^{-1}$
C_p	– Calor específico, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$
A	– taxa constante de aquecimento, °Cs
R_c	– raio do cilindro, m
T_s	– temperatura na superfície do cilindro de raio, R_c °C
T_c	– temperatura no centro do cilindro, °C
Q	– quantidade de calor, KJ
Δt	– variação da temperatura, °C
C_{pa}	– calor específico da amostra, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$
C_{pw}	– calor específico da água, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$
M_w	– massa de água fria, g
T_e	– temperatura de equilíbrio, °C
T_w	– temperatura inicial da água, °C
C_{pc}	– calor específico do calorímetro, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$
M_c	– massa do calorímetro, g
T_a	– temperatura inicial da amostra, °C
m_p	– massa do produto, g
T_4	– temperatura inicial do produto, °C
T_5	– temperatura de equilíbrio, °C
m_3	– soma das massas $m_1 + m_2$, g
V	– volume, cm^3
q	– densidade de fluxo de calor, kJ.s^{-1}
dT/dx	– gradiente de temperatura, °C/m^{-1}
K	– Índice de consistência, Pa.s^n
n	– Índice de comportamento do fluxo, adimensional
$K_{0c}^{0,5}$	– Tensão de cisalhamento inicial, $\text{Pa}^{0,5}$
K_c	– Viscosidade plástica de Casson, $\text{Pa.s}^{0,5}$
E_a	– energia de ativação, kal.mol^{-1}
R	– constante universal dos gases, $\text{cal.k}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
T	– temperatura absoluta, K
RT	– Razão de temperatura, adimensional,

T – Temperatura em cada momento, ($^{\circ}\text{C}$),
 T_{∞} – Temperatura no meio de congelamento, ($^{\circ}\text{C}$),
 T_0 – Temperatura inicial do produto, ($^{\circ}\text{C}$),
 F_0 – Número de Fourier, adimensional
 A_n – Constante que depende do produto
 L – Espessura da amostra/2
 t – Tempo, (min ou s)
 L – metade da espessura da camada, m
 X – teor de água inicial; decimal, base seca
 X_I – teor de água no instante t ; decimal, base seca
 X_e – teor de água de equilíbrio; decimal, base seca
 RX – razão de teor de água, adimensional
 a, b, k, n – constantes do modelo

LETRAS GREGAS

α – Difusividade térmica, mm^2s^{-1}

ρ – massa específica, g cm^{-3}

μ – Viscosidade newtoniana, Pa.s

η_a – Viscosidade aparente, Pa.s

τ – Tensão de cisalhamento, Pa

γ – Taxa de deformação, s^{-1}

τ_0 – Tensão inicial, Pa

η_p – Viscosidade plástica, Pa.s

η_∞ – constante empírica, Pa.s

σ – Coeficiente de sublimação do líquido, m^2/s

σ_n – Raiz transcendental,

RESUMO

O presente trabalho tem, como objetivo, propor um novo equipamento para obtenção do extrato de soja e desenvolver um novo produto alimentício elaborado com polpa de umbu, extrato de soja e rapadura, de alta qualidade protéica e energética, para suprir as carências nutritivas essenciais da população de baixa renda, principalmente para merenda escolar. O estudo foi dividido em quatro capítulos. No Capítulo 1 se avaliaram o processo de obtenção do extrato de soja com diferentes proporções de água:soja (1:8, 1:10 e 1:12), e o preparo da umbuzada com diferentes concentrações de polpa de umbu (30, 40 e 50%). Avaliaram-se também as características físico-químicas (proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico), termofísicas (condutividades térmica, difusividade térmica, massa específica e calor específico), as propriedades sensoriais (cor, aroma e sabor) do extrato de soja, polpa de umbu e das formulações de umbuzada. No Capítulo 2 estudou-se o comportamento reológico (10, 20, 30 e 40 °C) do extrato de soja, da polpa de umbu e das formulações da umbuzada e se avaliou dentre os modelos de Ostwald-de-Waelle e Casson qual representava o comportamento reológico. No Capítulo 3 foram estudadas a cinética de congelamento e o efeito das condições de congelamento sobre as características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas das formulações de umbuzada. Ademais, avaliaram-se as formulações da umbuzada em condições de armazenamento nas temperaturas de (-20 °C, a -170 °C até -50 °C em vapor de nitrogênio líquido e a -196 °C até -50 °C por imersão em nitrogênio líquido). No Capítulo 4 estudou-se a cinética de secagem por liofilização das formulações de umbuzada congeladas em três condições (-20 °C e até -50 °C em vapor e por imersão em nitrogênio líquido) e se avaliou dentre os modelos de Cavalcanti Mata, Page e Midilli, qual representa o comportamento das curvas de secagem com precisão e se quantificou o efeito das temperaturas de congelamento e do percentual de polpa de umbu nas características físico-químicas e sensoriais da umbuzada liofilizada. Com base nos resultados obtidos verificou-se que o extrato de soja na proporção soja:água de 1:8 apresentou as melhores características físico-químicas e sensoriais. A condutividade térmica e a difusividade térmica diminuem e a massa específica aumenta com a elevação da concentração de polpa de umbu. Os modelos de Ostwald-de-waelle e Casson foram, de maneira geral, os que melhor representaram o comportamento reológico do extrato de soja, da polpa de umbu e das formulações nas temperaturas estudadas. O congelamento até -50 °C por imersão em nitrogênio líquido, apresentou o menor tempo de congelamento. A difusividade efetiva média aumentou de acordo com a ordem do método de congelamento apresentada: -20 °C, a 50 °C em vapor de nitrogênio e a 50 °C por imersão em nitrogênio líquido. A formulação com 50% de polpa de umbu apresentou a maior taxa de secagem por liofilização e o modelo de Cavalcanti Matta foi o que melhor representou o comportamento das curvas de secagem por liofilização.

Palavras-chave: Propriedades termofísicas, sensorial, reologia, armazenamento, congelamento, liofilização

SUMMARY

The present work has the aim to propose a new device to get the soybean extract and develop a new food product made with umbu pulp, soymilk and brown sugar, high-quality protein and energetic, to supply the main nutritional needs of low-income population, especially for school lunches. The study was divided into four chapters. In Chapter 1 we evaluated the process of obtaining the soybean extract with different proportions of water: soybean (1:8, 1:10 and 1:12), the preparation of umbuzada with different concentrations of umbu pulp (30, 40 and 50%). Still, we evaluated the physico-chemical characteristic (protein, carbohydrates, lipids, pH, total acidity, ash, moisture content and calorific value), thermophysical (thermal conductivity, thermal diffusivity, density and specific heat), the sensory properties (color aroma and flavor) of soymilk, umbu's pulp, umbuzada's formulations. In Chapter 2 we studied the Rheological behavior (10, 20, 30 and 40 °C) of the soymilk of umbu's pulp and umbuzada's formulations and it was evaluated from the model Ostwald-Waelle and Casson which represented the rheological behavior. In Chapter 3 we studied the freezing kinetics and the effect of freezing conditions on the physico-chemical characteristic, sensory and microbiological umbuzada's formulations. Moreover, the formulations were evaluated in the umbuzada storage conditions at temperatures of (-20 °C, the -170 °C to -50 °C in nitrogen steam liquid and -196 °C to -50 °C by immersion in liquid nitrogen). In Chapter 4, we studied the kinetics of drying by lyophilization umbuzada's formulations frozen in three conditions (-20 °C and -50 °C in steam and immersion in liquid nitrogen), they were evaluated from the models Cavalcanti Mata, Page and Midilli which represents the behavior of the drying curves with precision, and quantified the effect of freezing temperatures and the percentage of umbu's pulp in physico-chemical and sensory umbuzada lyophilized. Based on the results obtained the soy extract in proportion soybean: water 1:8 showed better physico-chemical and sensory. The thermal conductivity and thermal diffusivity decreases and density increases with concentration increasing of umbu's pulp. Models Ostwald-of-Waelle and Casson were, in general, those which better represent the behavior rheology of the soy extract, the umbu's formulations and temperatures studied. Freezing to -50 °C by immersion in liquid nitrogen had the lowest freezing time. The average effective diffusivity increased according to the order of presented freezing method: -20 °C to 50 °C in nitrogen steam and 50 °C by immersion in liquid nitrogen. The formulation with 50% umbu's pulp show the highest rate of drying by lyophilization and Cavalcanti Mata model was the one that best represented the behavior of drying curves by lyophilization.

Key words: thermophysical properties, rheology, sensory analysis, freezing, storage, lyophilization

APRESENTAÇÃO

Por se tratar de uma bebida protéica de baixo custo, de excelente valor nutritivo e de fácil obtenção o extrato de soja representa importante alternativa para nutrição humana em geral, particularmente nos lugares onde o leite bovino é caro ou indisponível. Entretanto, a aceitação do extrato de soja tem sido limitada devido ao sabor desagradável. A adição de extrato de soja em sucos de fruta está se tornando cada vez mais frequente no mercado nacional, e indica mudança da atitude dos consumidores em relação aos produtos que, consumidos dessa maneira, modificam o sabor original. A utilização de umbu, extrato de soja e rapadura na elaboração de umbuzada para alimentação humana, poderá proporcionar um melhor aproveitamento melhor desse fruto abundante na região Nordeste, tal como, também, desta leguminosa de grande cultivo e importância econômica no Brasil e da produção de rapadura, que é outra atividade de tradição no Nordeste. Como importante substituto do leite de vaca ou de cabra para pessoas com intolerância a lactose e as alérgicas, o extrato de soja se apresenta como alternativa viável para elaboração da umbuzada.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma umbuzada em pó liofilizada, composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura, com o propósito de que o produto agregue as propriedades nutricionais e sensoriais da soja, umbu e rapadura.

Portanto, para sua apresentação este trabalho foi dividido em 4 Capítulos: **No Capítulo 1** foi realizado o processamento do extrato de soja da polpa de umbu aos quais, após misturados em diferentes proporções, adicionou-se rapadura para obtenção de diferentes formulações de umbuzada; a partir daí foi projetado e construído um equipamento para realizar a parte experimental do processamento dos grãos de soja para obtenção do extrato hidrossolúvel. Determinaram-se as características físico-químicas iniciais durante as etapas de processamento do extrato de soja, quanto a proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico, nas proporções, soja:água (1:8, 1:10 e 1:12). Foram estudadas as propriedades termofísicas (difusividade térmica, calor específico, massa específica e condutividade térmica) do extrato de soja, na proporção soja:água (1:8), polpa de umbu e das três formulações da umbuzada. A difusividade térmica dos produtos em questão foi determinada utilizando-se o método de DICKERSON (1965) e a determinação do calor específico foi feita através de um calorímetro de mistura. Obteve-se a massa específica pela razão entre a massa e o volume e a condutividade térmica foi calculada pelo produto entre

difusividade térmica, calor específico e massa específica, proporção de soja:água de 1:8. As formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, onde F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2 com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu, foram submetidas à análise sensorial inicial. O **Capítulo 2** refere-se ao estudo do comportamento reológico do extrato de soja na proporção soja:água 1:8, da polpa de umbu e das três formulações da umbuzada com extrato de soja e rapadura. A determinação reológica foi realizada em triplicata, nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C. As análises foram obtidas com um viscosímetro rotacional de marca Brookfield RV – DVII. Os dados experimentais foram ajustados através dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Casson. No **Capítulo 3** as três formulações da umbuzada foram submetidas a três métodos de congelamento: o primeiro método consiste em congelar o material da temperatura inicial até -20 °C em freezer; no segundo método o produto foi congelado a -170 °C no vapor de nitrogênio líquido até -50 °C e no terceiro método o produto foi congelado na temperatura de -196 °C, por imersão em nitrogênio líquido até -50 °C. As amostras congeladas foram armazenadas durante 120 dias em freezer convencional a temperatura de -20 °C e em câmara criogênica a -50 °C; determinou-se a cinética de congelamento. Foram realizadas análises físico-químicas, sensoriais e análise microbiológica a cada 20 dias, durante o período de armazenamento. O **Capítulo 4** é destinado ao estudo da liofilização, para obtenção da umbuzada em pó. Devido à ausência de água líquida e as baixas temperaturas requeridas para este processo, a maioria das reações de deterioração e microbiológicas é prevenida, tornando o produto final de excelente qualidade. Os alimentos que passam pelo processo apresentam propriedades de alta qualidade, tais como: sabor apreciável, retenção de aromas e excelente reidratação, além de uma vida de prateleira maior, quando corretamente embalados. A textura dos alimentos liofilizados é mantida havendo pouco encolhimento e nenhuma formação de crosta na superfície. Os estágios fundamentais envolvidos no processo de liofilização são: congelamento, estágio de secagem primário que se refere ao estágio no qual a água congelada é removida por sublimação e estágio de secagem secundário, no qual ocorre remoção da umidade sublimada. Neste trabalho foi realizada a liofilização das três formulações da umbuzada com diferentes concentrações de extrato de soja, polpa de umbu e rapadura submetida a três métodos de congelamento (freezer convencional -20 °C, no vapor de nitrogênio líquido até -50 °C e por imersão em nitrogênio líquido até -50 °C). As cinéticas de liofilização foram determinadas em um liofilizador da Marca Terroni Fauvel, LB 1500. Os modelos de Cavalcanti Mata, Midilli et al e Page, foram ajustados aos dados experimentais da cinética de liofilização e verificado o que melhor

representou tais curvas. A umbuzada congelada foi submetida a um vácuo parcial de 50 μ m de Hg. O material em forma de pó foi submetido a análise química para determinação da proteína bruta, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico. As análises foram feitas seguindo-se as metodologias recomendadas pela legislação em vigor (Brasil, 2000), (Brasil, 2005). A umbuzada em pó produzida também foi submetida a uma análise sensorial, quanto aos aspectos de cor, aroma e sabor.

Capítulo 1

**Processamento do extrato de soja, polpa de
umbu e das formulações para
umbuzada: Propriedades termofísicas,
características físico-químicas e análise
sensorial**

1.1 – INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é um dos mais antigos vegetais utilizados pelos orientais na preparação de seus alimentos, com as modernas tecnologias de processamento desenvolvidas, seu consumo se vem estendendo pelo Ocidente se e tem revelado como importante alternativa alimentar.

Esta leguminosa é conhecida também como feijão soja, ervilha chinesa ou feijão da Manchúria. O grão de soja é um dos mais importantes alimentos da humanidade por ser muito rico em proteínas e com bom conteúdo de gordura. O cultivo da soja espalhou-se pela Ásia tornando-se uma das bases da culinária de países do Oriente, sobretudo China e Japão. Desde o século XI a.C. ela vem sendo cultivada e consumida pelos chineses e, durante muitos séculos, sua utilização permaneceu restrita aos países orientais (BENEDETTI e FALCÃO, 2003).

O valor da soja na nutrição foi atribuído ao seu teor de proteína, lipídios, vitaminas e minerais. Entretanto, sabe-se que os grãos de soja são uma fonte rica em fitoquímicos, a exemplo das isoflavonas. Muitos desses componentes têm significativos efeitos benéficos à saúde humana, como fonte preventiva de doenças crônico-degenerativas (MURPHY *et al.*, 2002).

A constatação científica da funcionalidade da soja, além do reconhecido valor nutricional, aumentou o interesse pelo consumo dos grãos dessa leguminosa. Seu uso pela população ocidental esteve por muito tempo restrito aos descendentes de orientais, aos vegetarianos e às crianças com intolerância a lactose ou alergia ao leite bovino (RODRIGUES e MORETTI, 2008). Inúmeras pesquisas têm evidenciado os efeitos da soja sobre várias doenças crônicas decorrentes da síndrome do climatério e na prevenção de doenças cardiovasculares.

As tecnologias desenvolvidas e aplicadas para minimizar as características consideradas indesejáveis da soja não têm gerado aumento de aceitação significativa no consumo, que possa garantir os efeitos benéficos associados a essa leguminosa (MORAES, 2002). Além disso, muitas das substâncias responsáveis pelas características indesejáveis também o são pelas propriedades de saúde da soja que a caracterizam como alimento

funcional. Este é o caso dos oligossacarídeos, responsáveis pelo aumento da flatulência, mas relacionados com a proliferação de micro-organismos probióticos, no trato gastrointestinal. Também é o caso das isoflavonas, que respondem pelo sabor amargo e adstringente dos produtos derivados de soja, porém associados à prevenção de doenças hormônio-dependentes (ALDIN *et al.*, 2006).

A soja é uma excelente fonte de proteína e relevante componente nutricional nas dietas típicas de muitos países, por muitas gerações. Inúmeras pesquisas revelaram o grande potencial da soja em alimentos para baixar os níveis de colesterol e a incidência de doenças cardíacas e câncer (LIU *et al.*, 2005). Segundo ZADINELLO *et al.* (2010) pesquisas realizadas na área da saúde mostram que a desnutrição é um dos maiores problemas encontrados nos países em desenvolvimento. Dentre as diversas fontes protéicas de origem vegetal, a soja representa uma das melhores alternativas para minimizar tal impasse, pois se constitui excelente fonte de proteínas, sais minerais e vitaminas. Para CAVALHEIRO *et al.* (2001) sua importância se torna ainda mais evidente uma vez que pode ser usado por pessoas alérgicas a lactose e as proteínas presentes no leite bovino.

A aceitação inicial do extrato de soja em nosso país foi problemática devido ao sabor, considerado desagradável. No entanto, estudos realizados posteriormente conseguiram anular o efeito da enzima lipoxigenase, responsável pelo sabor amargo da soja durante o rompimento do grão (BENEDETTI e FALCÃO, 2003).

A adição de extrato hidrossolúvel de soja em suco de frutas está se tornando cada vez mais frequente no mercado nacional e indica mudança da atitude dos consumidores em relação aos produtos (BEHRENS e DA SILVA, 2004) que, consumidos desta maneira, lembram pouco o sabor original do leite de soja.

Como importante substituto do leite de vaca para pessoas com intolerância a lactose e as alérgicas a esses leites, o extrato de soja se apresenta como opção viável, em virtude do seu baixo custo e do alto teor protéico e energético.

As polpas de frutas regionais acrescidas de extrato de soja apresentam enorme potencial de crescimento, haja visto que conciliam as características sensoriais desejáveis das frutas com as propriedades funcionais da soja.

1.1.1 – Justificativa

Apesar das potencialidades de aproveitamento, há uma pequena participação da soja na dieta humana, a qual tende a se incrementar pelo seu inquestionável perfil nutricional e excelentes propriedades nutricionais nos sistemas alimentares e o constante desenvolvimento de produtos à base de soja (BRANCO *et al.*, 2007). Este baixo consumo é devido à baixa aceitabilidade dos produtos elaborados com soja, nos quais está evidente o sabor característico da soja tradicional.

O consumo mundial de bebidas de soja tem aumentado gradualmente. No Brasil, este mercado cresce 30% ao ano e têm sido ampliado e impulsionado pela mudança de hábitos dos consumidores, cada vez mais preocupados com seu bem-estar mediante boa alimentação (RODRIGUES e MORETTI, 2008). O extrato de soja, também conhecido como “leite de soja”, é a base para obtenção dessas bebidas e vem ganhando espaço no mercado pela versatilidade na sua utilização direta ou em formulações de produtos, embora inúmeras tecnologias tenham logrado êxito na obtenção de extratos com melhores características sensoriais (CASÉ *et al.*, 2002).

A mistura de extrato de soja com frutas tem alcançado ótimos resultados em termos de aceitação pelos consumidores (VALIM, *et al.*, 2003). Apesar da crescente oferta de sabores diferenciados, as bebidas disponíveis comercialmente no mercado nacional fornecem quantidade de proteína de soja relativamente baixa (de 0,6 a 1,4%). Tal parâmetro está vinculado às dificuldades tecnológicas associadas à sua produção, como a estabilização e aspectos sensoriais negativos da soja, notadamente quando se trabalha com percentuais protéicos mais elevados (RODRIGUES *et al.*, 2003). Embora seu consumo seja interessante, do ponto de vista de introdução da soja na alimentação cotidiana, o baixo percentual de extrato de soja utilizado nas formulações pode restringir a ação dessas bebidas como alimento funcional.

Os alimentos que fornecem maior quantidade de proteínas, como o extrato de soja, são classificados alimentos construtores. Os alimentos construtores auxiliam no crescimento e no restabelecimento dos tecidos, razões por que o extrato de soja é um alimento indicado para utilização na merenda escolar.

1.1.2 – Objetivo

- a) Determinação das características físico-químicas da polpa de umbu e do extrato de soja e três formulações durante as etapas de processamento (proteína bruta, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico kcal/100g).
- b) Determinar as propriedades termofísicas (difusividade térmica, calor específico, massa específica e condutividade térmica) do extrato de soja na proporção soja:água (1:8), da polpa de umbu e das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada com extrato de soja, polpa de umbu e rapadura (Formulação F1: composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2: 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e F3: 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu).
- c) Avaliar as características sensoriais quanto à cor ao aroma e ao sabor, das formulações da umbuzada.

1.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 – Introdução da soja e do extrato de soja no Brasil

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) chegou ao Brasil em fins do século XIX e a expansão da sua cultura foi beneficiada pelos trabalhos de adaptação, produtividade e resistência a pragas, realizados por diferentes universidades e centros de pesquisa (MORAES *et al.*, 2006). O Instituto Agrônomo de Campinas, SP, promoveu a primeira distribuição de sementes de soja para produtores paulistas e dessa mesma data se têm registro do primeiro cultivo de soja no Rio Grande do Sul, RS, onde a cultura encontrou condições efetivas para se desenvolver e expandir, em razão das semelhanças climáticas do ecossistema de origem (sul dos EUA) dos materiais genéticos existentes no País, com as condições climáticas predominantes no extremo sul do Brasil (EMBRAPA, 2003). O crescimento da soja tem sido progressivamente transferido de clima temperado para as áreas tropicas, onde a terra é mais barata. A América Latina é o principal foco dessa expansão, especialmente o Brasil, seguido da Bolívia e Paraguai (FEARNSIDE, 2001).

O primeiro registro de cultivo de soja no Brasil data de 1914, no município de Santa Rosa, RS, mas foi somente a partir dos anos 40 que ela adquiriu alguma importância econômica, merecendo o primeiro registro estatístico nacional em 1941, no Anuário Agrícola do RS: área cultivada de 640 ha, produção de 450 t e rendimento de 700 kg/ha. Neste mesmo ano se instalou a primeira indústria processadora de soja do País em Santa Rosa, RS, e em 1949, com a produção de 25.000t, o Brasil figurou, pela primeira vez, como produtor de soja nas estatísticas internacionais. Atualmente, o País é o segundo maior produtor mundial dessa leguminosa, responsável por 20% da produção total (BENEDETTI e FALCÃO, 2003).

Dentro da versatilidade da soja no campo da indústria de alimento, são conhecidos e comercializados, além da soja em grãos, farinha de soja, concentrados e isolados de soja, soja texturizada, alimentos fermentados como miso, shoyo, tempeh, tofu e, ainda, o extrato de soja ou leite de soja (soymilk), comercializado em vários sabores, além de outros produtos (CIABOTTI, *et al.*, 2007).

1.2.2. Fatores nutricionais da soja

Historicamente, o estado nutricional de populações que vivem em países desenvolvidos é afetado por hábitos inadequados, como o consumo excessivo de gorduras, sobremaneira saturadas, elevada ingestão de açúcares e diminuição considerável do consumo de amido, fibras, vitaminas e sais minerais, que podem ser causadores da elevada incidência de doenças crônico-degenerativas nesses países (DE ANGELIS, 2002).

A preocupação com relação à alimentação vem mudando muito nas últimas décadas. A nutrição continua desempenhando seu papel de fornecimento de nutrientes mas o conceito de alimentos funcionais faz com que essa ciência se associe à medicina e ganhe dimensão extra no século XXI (HAULY *et al.*, 2005).

As proteínas são essenciais na dieta humana e seu valor biológico e nutricional depende da quantidade, digestibilidade, absorção e utilização dos aminoácidos que a compõem (FRIEDMAN e BRANDON, 2001). Com porcentagem de proteína de 40% aproximadamente, a soja apresenta grande interesse para a alimentação como substituta da carne. Está presente nas dietas vegetarianas, consideradas mais saudáveis, já que os vegetarianos apresentam menor incidência de problemas cardiovasculares.

1.2.3 – Composição nutricional do extrato de soja

O extrato hidrossolúvel de soja, ou leite de soja, é um produto de aspecto semelhante ao leite de vaca e de alto valor nutritivo, obtido pelo processamento adequado de grãos de soja de boa qualidade (SPRANGOSKI *et al.*, 2007).

O extrato de soja tem composição química quase completa, incluindo proteínas, carboidratos, lipídios e muitos minerais; é, todavia, é deficiente na maioria das vitaminas. Para demonstrar seu valor nutritivo, REGITANO-D'ARCE (2006) o comparou com o leite de vaca, através da Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Composição química média do extrato de soja em comparação ao leite de vaca

Constituintes	Extrato de soja	Leite de vaca
Proteínas (%)	3,60	2,9
Lipídios (%)	2,0	3,3
Carboidratos (%)	2,9	4,5
Calorias (kcal/100g)	44	59
Cálcio (mg/100g)	15	100
Fósforo (mg/100g)	49	90
Ferro (mg/100g)	1,2	0,10
Teor de água %	90,8	88,6
Cinzas %	0,5	0,7
Extrato seco total %	-	12
Lactose (%)	0	5,0

Fonte: Regitano-d'Arce (2006)

1.2.4 – Soja como alimento funcional

Alimentos funcionais contêm substâncias capazes de modular as respostas metabólicas do indivíduo, resultando em maior proteção e estímulo à saúde. Promovem o bem-estar dos indivíduos, prevenindo o aparecimento precoce de doenças degenerativas e permitindo o aumento da longevidade com qualidade de vida. Portanto, são alimentos que contêm uma ou mais substâncias capazes de atuar no metabolismo ou na fisiologia do ser humano, promovendo benefícios à saúde (PACHECO e SGARBIERI, 2001).

Estudos recentes mostrando a relação entre dieta e saúde, somados ao crescente interesse de alguns indivíduos em consumir alimentos mais saudáveis, têm levado a indústria alimentícia ao desenvolvimento de novos produtos cujas funções pretendem ir além do fornecimento de nutrientes básicos e da satisfação do paladar do consumidor. Esses produtos são conhecidos como “alimentos funcionais” e têm, como principal função, a redução do risco de doenças crônico-degenerativas. Eles representam um novo

segmento dentro do mercado de alimentos e possuem, como principal apelo de venda, suas alegações de saúde que são, via de regra, veiculadas pelo rótulo e pela propaganda com a finalidade de gerar expectativa positiva nos consumidores, induzindo-os à compra (BEHRENS *et al.*, 2001).

A funcionalidade da proteína de soja foi reconhecida em 1999 pelo FDA (Food Drug Administration), órgão de controle de alimento dos Estados Unidos da América. Foi admitido informar, para finalidade de rotulagem nutricional, que dietas com baixo conteúdo de gorduras saturadas e colesterol e que incluam o consumo diário de 25 gramas de proteína de soja, podem reduzir os riscos de doenças do coração. A Associação Americana do Coração recomenda o consumo de alimentos de soja para pacientes com elevados níveis de colesterol. Em programas federais de alimentação escolar foi comprovado que a soja pode substituir, sem prejuízo, a proteína animal, até o nível de 30% (PENHA *et al.*, 2007).

Dentre os alimentos cujas alegações de saúde têm sido amplamente divulgadas pela mídia nos últimos anos destaca-se a soja, por suas características químicas e nutricionais, que a qualificam como alimento funcional: além da qualidade de sua proteína estudos mostram que a soja pode ser utilizada de forma preventiva e terapêutica no tratamento de doenças cardiovasculares, câncer, osteoporose e sintomas da menopausa (BEHRENS *et al.*, 2004).

A soja é considerada um alimento funcional porque, além de funções nutricionais básicas, produz efeitos benéficos à saúde reduzindo os riscos de algumas doenças crônicas e degenerativas. É rica em proteína de boa qualidade, possui ácidos graxos poli-insaturados e compostos fitoquímicos como: isoflavonas, saponinas e fitatos, dentre outros. Também é uma fonte de minerais, como cobre, ferro, fósforo, potássio, magnésio, manganês e vitaminas do complexo B (MENDES DA LUZ *et al.*, 2007).

Nos países da Ásia a baixa incidência de certas doenças crônico-degenerativas é atribuída à alta ingestão de isoflavonas, com uma média de 40 a 80 mg/dia, ao passo que na América somente 1 a 3 mg/dia são consumidos (KIM e KWON, 2001).

Nos últimos anos a soja (*Glycine max*) vem sendo muito estudada em razão de seu potencial na prevenção e no tratamento de doenças crônicas (FLIGHT e CLIFTON, 2006). Além disso, suas propriedades antioxidantes diminuem a quantidade de radicais livres no organismo, retardando o envelhecimento precoce. O conteúdo de isoflavonas da soja e do seu teor de sólidos depende das condições de processamento e do seu armazenamento (EISEN *et al.*, 2003).

1.2.5 – Processamento da soja para obtenção do extrato hidrossolúvel

O extrato hidrossolúvel de soja, ou “leite de soja”, é o produto obtido de uma quantidade adequada de grãos de soja e água, numa proporção soja:água, geralmente 1:10. As etapas para obtenção do extrato de soja são: seleção, pesagem dos grãos maceração (12 horas), trituração, tratamento térmico (em torno de 98°C/5 min.), filtração e correção do volume final (JACKSON *et al.*, 2002).

1.2.5.1 – Hidratação dos grãos de soja (maceração)

O processamento da soja requer frequentemente, que grãos sejam hidratados antes de serem submetidos ao cozimento ou extração de algum constituinte de interesse (COUTINHO *et al.*, 2005). Este visa à inativação ou destruição dos fatores antinutricionais de forma a melhorar a digestibilidade da proteína da soja, porém não é um método satisfatório pois se for usado de forma inadequada, proporcionará perda de alguns aminoácidos, diminuindo seu valor nutritivo (CARDOSO *et al.*, 2007).

Segundo BAYRAN *et al.*, (2004), o tempo médio de hidratação (maceração) da soja é de até 12 horas, quando atinge a estabilização. Para inativação das lipoxigenases, há necessidade de tratamento térmico ainda sobre o grão que, se não controlado, poderá provocar insolubilização de grande parte das proteínas impedindo sua recuperação para o extrato hidrossolúvel ou leite de soja (REGITANO-D'ARCE, 2006).

No processamento da soja a etapa de imersão dos grãos na água visando ao seu amaciamento, é quase sempre necessária e o tratamento térmico adequado da soja aumenta a digestibilidade de sua proteína, e inativa os inibidores de proteases e outros fatores antinutricionais. Salienta-se que o tratamento térmico das leguminosas é eficaz

para inativar substâncias antinutricionais, embora possa ocorrer atividade residual significativa de inibidores de proteases em produtos da soja, após tratamento térmico (BAYRAN *et al.*, 2004).

1.2.5.2 – Branqueamento dos grãos de soja

CIABOTTI (2004) constatou que o processo de branqueamento dos grãos de soja crus para obtenção de extrato de soja, inativa a enzima lipoxigenase, baseando-se na suposição de que os compostos responsáveis pelo sabor indesejável estão ausentes no grão intacto mas a quebra ou danificação desses tecidos resulta em seu desenvolvimento instantâneo. Foi proposta a inativação das enzimas lipoxigenases por branqueamento dos grãos de soja macerados imersos em água fervente por 5 minutos ou de grãos inteiros secados diretamente na água fervente, durante 20 minutos, causando hidratação simultânea e inativação das enzimas.

1.2.5.3 – Desintegração dos grãos de soja com água

Após a hidratação dos grãos segue a etapa de desintegração da soja com água em ebulição, fato essencial para a extração das proteínas e de demais nutrientes (BRANCO *et al.*, 2007). Neste processo se observa que quando submetida ao cozimento, a solubilidade das isoflavonas aumenta com a temperatura, resultando em uma perda de aproximadamente 50 % do total encontrado inicialmente (ROSSI *et al.*, 2004).

1.2.5.4 – Tratamento térmico

Segundo MAIA *et al.* (2006) o tratamento térmico durante o processamento do "leite" de soja é consciente para inativar os fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina e lecitinas, desnaturar as proteínas para torná-las mais digeríveis, aumentar a vida útil do produto, facilitar a extração do "leite" e inativar a enzima lipoxigenase. Além do desenvolvimento de processos e equipamentos que permitam inativar as lipoxigenases, outras alternativas relativas ao sabor da soja têm sido propostas, como a obtenção, por meio de programas de melhoramento genético, de cultivares mais adaptadas para consumo humano.

1.2.6. Propriedades termofísicas

O conhecimento das propriedades termofísicas é essencial para o projeto eficiente e econômico de operações de processamento de alimentos, envolvendo transferência de calor (ARAÚJO *et al.*, 2004). Assim, são imprescindíveis tanto a obtenção de dados precisos de propriedades como a condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico, quanto à predição do comportamento dessas propriedades durante o processo, em função da temperatura (SOUZA *et al.*, 2010).

Segundo MUNIZ (2004) muitos produtos agrícolas de origem vegetal ou animal são submetidos a vários tipos de processamento térmico, antes de serem colocados para o consumidor. O processamento térmico pode incluir aquecimento, resfriamento, secagem e congelamento. O conhecimento das características térmicas difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica, e as físicas, tais como massa específica, forma e tamanho, são essenciais para projetar equipamentos e prever o processo.

1.2.6.1. Difusividade térmica

Segundo SOUZA (2008) a difusividade térmica mede a capacidade de um material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la, sendo a mais utilizada das propriedades térmicas quando ocorre a transferência de calor em regime transiente (ARAÚJO *et al.*, 2004). Esta propriedade é requerida para estabelecer a rapidez com que o calor se difunde no alimento e conhecer as relações de tempo-temperatura que podem causar mudanças de nutrientes e texturas. A difusividade térmica é a razão entre a habilidade em transferir calor e a capacidade de armazenar calor, expressas como:

$$\alpha = \frac{K}{\rho \cdot Cp} \quad (1.1)$$

em que:

α – Difusividade térmica, $m^2 s^{-1}$

k – Condutividade térmica, $W m^{-1} C^{-1}$

Cp – Calor específico, $kJ kg^{-1} C^{-1}$

ρ – Densidade, gcm^{-3}

1.2.6.2. Calor específico

O calor específico é a quantidade de calor necessário para alterar a temperatura de um corpo em 1°C por unidade de massa, sem mudança de estado. Segundo MATA e DUARTE (2003) a dificuldade de se medir o calor específico de materiais biológicos, é devida ao conteúdo de umidade do material e ao calor de absorção. Em virtude dessas dificuldades é que poucos valores de calor específico estão disponíveis na literatura. Muitos desses métodos, utilizados para determinar o calor específico, se baseiam no equilíbrio térmico estabelecido entre um primeiro corpo, em que se pretende determinar o calor específico, e um segundo corpo de calor específico conhecido. Conforme OLIVEIRA (2009) o método mais simples para determinação do calor específico em produtos biológicos é o método das misturas, o qual método consiste em utilizar um recipiente isolado de capacidade calorífica conhecida, com um líquido inerte. O cálculo do calor específico é feito através de um balanço global de massa e energia em um sistema isolado termicamente, conforme Equação 1.2.

$$Cp = \frac{Q}{m\Delta t} \quad (1.2)$$

em que:

Cp – calor específico, $\text{kJ kg}^{-1}\text{C}^{-1}$

Q – quantidade de calor, KJ

m – massa, kg

Δt – variação da temperatura, $^{\circ}\text{C}$

MOSHENIN (1980) afirma que os métodos das misturas diretas são bastante utilizados, consistindo em se utilizar um recipiente isolado de capacidade calorífica conhecida, com um líquido inerte no qual, através de um balanço global de massa e energia em um sistema isolado termicamente é calculado o calor específico (Equação 1.3).

$$Cp_a = \frac{Cp_w \cdot M_w (T_e - T_w) + Cp_c \cdot M_c (T_e - T_w)}{M_a (T_a - T_e)} \quad (1.3)$$

em que:

Cp_a – calor específico da amostra, $\text{kJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$

Cp_w – calor específico da água, $\text{kJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$

M_w – massa de água fria, g

T_e – temperatura de equilíbrio, °C

T_w – temperatura inicial da água, °C

Cp_c – calor específico do calorímetro, $\text{kJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$

M_c – massa do calorímetro, g

T_a – temperatura inicial da amostra, °C

M_a – massa da amostra, g

1.2.6.3. Massa específica

A massa específica de sólidos e líquidos, segundo o Sistema Internacional de Unidades, é expressa em quilograma por metro cúbico (kg m^{-3}); entretanto, é mais comumente expressa em unidades de gramas por centímetro cúbico (gcm^{-3}) ou gramas por mililitro (gmL^{-1}). A massa específica absoluta é uma propriedade específica, isto é, cada substância pura tem uma densidade própria, que a identifica e a diferencia das outras substâncias. A massa específica relativa de um material é a relação entre sua densidade absoluta de uma substância estabelecida como padrão. No cálculo da massa específica relativa de sólidos e líquidos o padrão usualmente escolhido é a massa específica absoluta da água, que é igual a 1g cm^{-3} a $4,0 \text{°C}$.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.4)$$

em que:

ρ – massa específica, g cm^{-3}

m – massa, g

V – volume, cm^3

Dentre os métodos utilizados para determinação da massa específica de alimentos líquidos o método do picnômetro é o mais utilizado. Baseia-se no princípio de que um picnômetro de volume conhecido é preenchido com a amostra e pesado mas esta técnica deve ser usada com cautela em temperaturas elevadas, porque erros podem resultar da evaporação da amostra (PEREIRA, 2001).

1.2.6.4 Condutividade térmica

A condutividade térmica depende principalmente da composição do produto, incluindo a presença de espaços vazios e do grau de homogeneidade estrutural. De acordo com (INCROPERA e DEWITT, 2003), a condutividade térmica de um material é a medida da sua capacidade para conduzir calor. Nos alimentos a condutividade térmica depende sobretudo da composição, mas também da presença de espaços vazios e da homogeneidade (SOUZA, 2008).

Atualmente, são vários os métodos de se medir a condutividade térmica dos materiais, esses métodos, por sua vez, podem ser classificados em métodos de estado estacionário e métodos de estado não estacionário. Os primeiros são mais fáceis de serem realizados, entretanto, demandam relativamente grande quantidade de tempo para que seja atingido o regime estacionário para a realização da análise (VIANA, 2010). Apesar de serem mais difíceis quanto a sua realização, as metodologias baseadas no estado transiente, são mais adequadas para alimentos, pois as medições são realizadas em poucos minutos evitando, assim, alterações na amostra, em consequência de sua atividade microbiológica e ou química, já que tais materiais são de natureza biológica

A condutividade térmica (k) de qualquer elemento está definida como a quantidade de calor por unidade de tempo que passa através de uma placa plana de espessura e área unitária, apresentando diferença de temperatura entre as faces, ou ainda, é a constante de proporcionalidade de calor através de um sistema, em que se tem a equação fundamental da Transferência de calor, ou lei de Fourier:

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (1.5)$$

em que:

q – densidade de fluxo de calor, kJ s^{-1}

k – condutividade térmica, $\text{W m}^{-1}\text{°C}^{-1}$

dT/dx – gradiente de temperatura, °C m^{-1}

1.2.7 – Características sensoriais

A análise sensorial é uma ferramenta utilizada para criação e desenvolvimento de novos produtos, especialmente na indústria alimentícia, que serve para medir, analisar e interpretar as reações produzidas pelas características dos alimentos da forma que são percebidas pelos órgãos da visão, odor, gosto, tato e audição (ZEOLA *et al.*, 2010). A avaliação sensorial tem, como objetivo fundamental, prover informações para a decisão do processo produtivo em diversos setores, incluindo o alimentício. No contexto industrial a análise sensorial tem sido empregada para minimizar o risco associado à introdução de novos produtos no mercado e para avaliar a permanência de produtos presentes nesse contexto (ALBUQUERQUE *et al.*, 2009)

A qualidade sensorial é determinada pela interação do alimento com o homem, envolvendo aspectos culturais, étnicos e sociológicos, dentre outros (SIMÕES *et al.*, 2009), significando que os produtos direcionados ao consumo devem ser atrativos e despertar o interesse e a memória sensorial dos consumidores.

A qualidade sensorial de um produto pode ser avaliada por meio de métodos sensoriais descritivos, os quais têm, como objetivo, descrever as propriedades sensoriais do alimento, proporcionando informações sobre sua aparência, cor, aroma, sabor e textura. O conhecimento das propriedades sensoriais de produtos pode ser um diferencial durante o desenvolvimento e a melhoria de produtos. Conhecendo as propriedades sensoriais é possível trabalhar o método de processamento, a proporção dos ingredientes e os ingredientes utilizados na fabricação do produto, a fim de se obter um alimento com perfil sensorial que proporcione melhor aceitação pelo mercado consumidor (LOURES *et al.*, 2010).

1.2.7.1 – Cor

Um dos principais atributos sensoriais nos alimentos é a cor. Segundo FARAONI *et al.* (2008) na avaliação de um alimento o impacto visual causado pela cor

se sobrepõe a todos os outros atributos, fazendo deste um dos mais importantes na comercialização de alimentos e constituindo, assim, o primeiro critério de aceitação ou rejeição de um produto. Tratando-se de polpas e de produtos elaborados à base de polpa de fruta, a cor, além de influenciar na qualidade é uma característica utilizada no controle do processamento desses produtos. Muitos pigmentos naturais são destruídos pelo aquecimento durante o processamento e estocagem, pela alteração de pH ou oxidação de compostos e como resultado os alimentos processados podem perder a cor característica e, em contrapartida, seu valor comercial. O escurecimento não enzimático (reação de Maillard e a oxidação do ácido ascórbico, por exemplo) é uma causa importante na alteração da cor dos alimentos.

1.2.7.2 – Aroma

A aceitação dos produtos alimentícios no mercado depende de sua qualidade. O aroma, em particular, está entre os principais atributos que determinam a escolha e o consumo. Historicamente, gregos e romanos perfumavam seus vinhos com rosas, violetas, ervas e condimentos exóticos trazidos da China, Índia e Egito, pelos mercadores venezianos. Na Europa esses ingredientes foram também misturados aos alimentos para torná-los mais palatáveis. Avanços na química orgânica durante o século XIX, tornaram possíveis que importantes substâncias aromatizantes, como a vanilina e a cumarina, fossem sintetizadas e adicionadas aos produtos alimentícios (SIMÕES *et al.*, 2009).

O aroma é percebido pelos sentidos do gosto e olfato, produzidos quando se ingere o alimento e constitui um dos mais relevantes atributos dos alimentos e bebidas (SIMÕES *et al.*, 2009). A sensação do gosto é atribuída à presença de compostos não voláteis nos alimentos (tais como açúcares, sais, ácidos), determinando os quatro gostos básicos descritos como doce, salgado, ácido e amargo. A sensação do aroma é bem mais complexa pois o olfato humano pode discriminar milhares de compostos voláteis. Os compostos voláteis são responsáveis pelo sabor característico dos alimentos (BASTOS, *et al.*, 2002).

De acordo com CHAVES e SPROESSER (2002) o aroma é fisiologicamente, a sensação que se percebe por meio das células receptoras olfativas, quando estimuladas

por substâncias voláteis que passam pela boca. TEIXEIRA *et al.* (1987) mencionam que a sensibilidade do olfato humano é bastante eficiente e quando treinado consegue perceber a presença de certas substâncias em concentrações baixíssimas e também distinguir milhares de odores diferentes.

1.2.7.3 – Sabor

Somente seis sabores são reconhecidos: doce, salgado, ácido, amargo, “umami” e metálico. A percepção do metálico tem sido separada dos outros sabores, visto que o metálico é definido como uma separação olfatória-gustativa. A percepção do sabor ocorre por meio de células receptoras localizadas na parte frontal, lateral e no final da língua, bem como no palato, bochechas e esôfago. O sabor “umami” (do japonês quer dizer agradável, gostoso) foi identificado a partir da pesquisa sobre a atuação dos realçadores de sabor, tais como glutamato, inosinato e guanilato (DUTCOSKY, 2007).

O sabor e o aroma são apreciados em conjunto e designados “flavour”, uma vez que se correlacionam como atributo de qualidade único. O “flavour” é a percepção sutil e complexa da combinação entre sabor doce, ácido, adstringente e amargo, odor (substâncias voláteis) e textura (firmeza, maciez, granulidade) (NASCIMENTO, 2003).

Segundo FRANÇA (2009) o sabor e o aroma dos alimentos são determinantes críticos na sua escolha e consumo, além de possuírem potencial para regular a absorção e o metabolismo dos nutrientes. Os mecanismos fisiológicos implícitos que facilitam as interações entre o flavour e o metabolismo dos nutrientes, são conexões nervosas (neurais) entre a região da orofaringe, o cérebro e os tecidos periféricos. Estudos recentes têm mostrado que o flavour de alimentos pode melhorar o metabolismo dos nutrientes em seres humanos. Deste modo, o melhoramento e a intensificação do flavour dos alimentos são de interesse principal para a indústria de alimentos; o que pode ser menos visível é que, em adição à contribuição para o valor hedônico de um alimento, o flavour tem potencial para influenciar a função fisiológica dos seres humanos.

Sabor é, em análise sensorial, a experiência mista, mas unitária, de sensações gustativas, olfativas e táteis percebidas durante a degustação. O sabor engloba as sensações de gosto, odor e táteis orais, podendo ser influenciado pelos efeitos táteis, térmicos, dolorosos e cinestésicos (CHAVES e SPROESSER, 2002).

1.3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPPA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola que faz parte do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, na cidade de Campina Grande – PB.

1.3.1 – Matéria prima

Utilizaram-se, como matéria prima, frutos de umbuzeiro adquiridos no município de Alagoinha, PE, em bom estado físico. Após a aquisição e transporte até o ambiente do laboratório, os frutos foram lavados em água corrente, selecionados, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm e enxaguados, para retirar o excesso da solução. Após o escoamento natural da água os frutos foram despulpados em despulpadeira mecânica e a polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade, com capacidade para 500 g; depois de embaladas foram armazenadas em freezer a -20 °C. O extrato de soja foi obtido a partir dos grãos adquiridos no mercado local de Campina Grande, PB e processados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas. A rapadura utilizada na composição da umbuzada foi adquirida no mercado local.

1.3.2 – Equipamento utilizado durante o experimento

Para realizar a parte experimental do processamento dos grãos de soja visando à obtenção do extrato, foi projetado e construído um equipamento em escala laboratorial com capacidade para produzir 4.000 mLh⁻¹; este equipamento consiste das seguintes partes: moinho de alimentos, recipiente de aço inox, liquidificador, bomba centrífuga e recipiente de vidro, conforme a Figura 1.1.

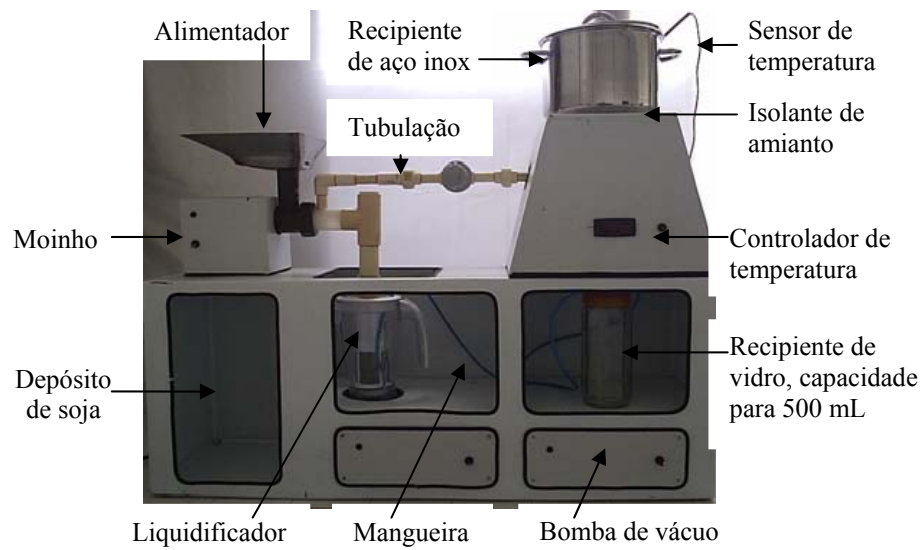


Figura 1.1 – Equipamento em escala laboratorial para obtenção do extrato de soja.

Na Figura 1.2 se encontra o fluxograma geral do processo para obtenção do extrato de soja:

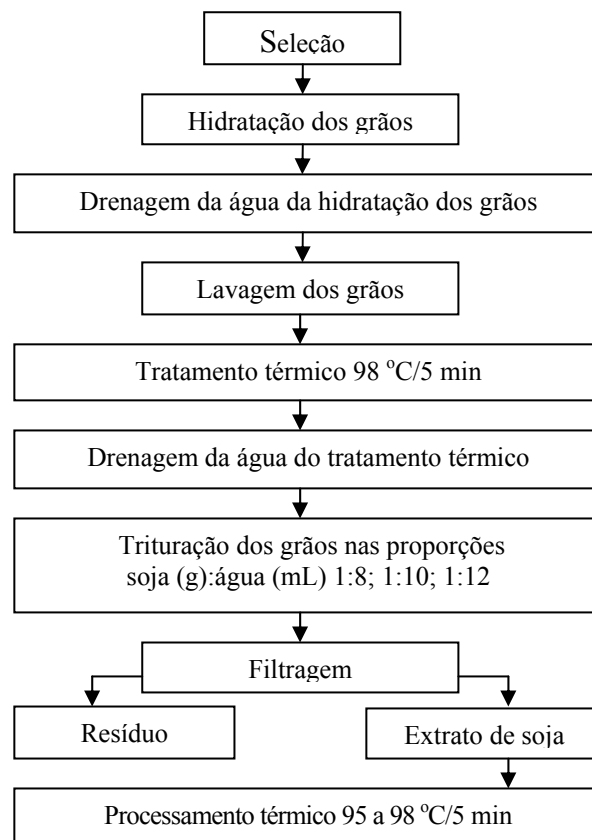


Figura 1.2 – Fluxograma do processo para obtenção do extrato de soja

1.3.3 – Descrição do Processo

Recepção: foram verificadas as características da matéria prima, como cor, aparência e aroma, além do seu tempo de prateleira.

Hidratação: os grãos foram lavados e imersos em água destilada à temperatura ambiente, durante 12 horas, para hidratação, com a finalidade de amolecer as fibras e facilitar o processo de desintegração, com consequente aumento de rendimento; concluído o tempo de maceração, a água foi drenada e os grãos lavados.

Tratamento térmico: os grãos foram imersos em água a uma temperatura de 98°C durante 5 minutos, com a finalidade de eliminar fatores antinutricionais contidos na soja crua, facilitar a extração do leite e aumentar o rendimento. Após a drenagem da água do tratamento térmico o produto foi triturado no liquidificador na rotação de 1500 rpm e filtrado por meio de uma malha de 0,5 mm existente no interior do liquidificador. O líquido filtrado, extrato de soja, foi succionado para um recipiente de vidro de 1.500 mL por meio de uma bomba a vácuo de ¼ HP e pressão de 650 mmHg aquecido a 95 a 98°C durante 5 minutos.

1.3.4 – Formulação da umbuzada

Para a formulação da umbuzada utilizou-se a razão soja:água de 1:8, a qual foi definida a partir das análises físico-químicas. Além disso, utilizaram-se três concentrações da polpa de umbu, 30, 40 e 50%, em 1000 mL do produto (Tabela 1.2). As formulações da umbuzada foram elaboradas sem qualquer tratamento, passando apenas pelos processos de homogeneização e congelamento, sendo adicionados 175g de rapadura para cada formulação.

Tabela 1.2 – Formulações utilizadas para composição da umbuzada

Componentes	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3
Extrato de soja (mL)	700	600	500
Polpa de umbu (mL)	300	400	500

1.3.5 – Determinação das características físico-químicas

Realizou-se a caracterização físico-química (proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, umidade e valor calórico) antes e após o processo de congelamento, criocongelamento e durante o armazenamento (a cada 20 dias, pelo período de 4 meses) das três formulações da umbuzada com diferentes concentrações de extrato de soja e rapadura, de acordo com as metodologias recomendadas pela legislação em vigor (BRASIL, 2000) e pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia (CT) do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB.

1.3.5.1 – Proteínas

O teor de proteínas foi determinado em triplicata, avaliando-se o nitrogênio total da amostra pelo método de Kjeldahl, descrito por Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005). A proteína total foi calculada pela multiplicação da porcentagem de nitrogênio total pelo fator de conversão 6,25.

1.3.5.2 – Carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado por diferença percentual, considerando-se os teores de proteína, lipídios, cinzas e umidade, segundo a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

1.3.5.3 – Lipídios

O teor de lipídios foi determinado em triplicata, de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

1.3.5.4 – pH

As medidas de pH foram determinadas pelo método potenciométrico, que consiste na calibração do phmetro da marca PA200 usando-se soluções tampão de (pH

4,0 e 7,0) a temperatura ambiente. Imergindo o eletrodo no becker que continha a amostra, fez-se a leitura direta em unidade de pH, segundo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

1.3.5.5 – Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada através do método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), cujos resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico e as amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1N.

1.3.5.6 – Cinzas

A determinação do conteúdo de cinzas foi conduzida em triplicata, por meio da calcinação das amostras em mufla, em temperatura de 550 °C, segundo a metodologia descrita por Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

1.3.5.7 – Teor de água

O teor de água foi determinado através do método gravimétrico com a utilização de estufa a 105 °C ± 3 , que se baseia no peso da água removida das amostras durante sua permanência na estufa, por 24 h. Os resultados foram obtidos em triplicata de aproximadamente 10 g cada uma, expressas em % de base úmida, Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

1.3.5.8 – Valor calórico

Obteve-se o valor calórico pela somatória dos teores de carboidratos e proteínas, multiplicados por quatro, e de lipídeos, multiplicados por nove, segundo a metodologia descrita por Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005). Valor calórico (Kcal/100g) = (Proteína total x 4) + (Glicídeos x 4) + (Lipídeos x 9)

1.3.6 – Determinação das propriedades termofísicas

1.3.6.1 – Difusividade térmica

A difusividade térmica do extrato de soja, polpa de umbu e das três formulações da umbuzada, foi determinada em triplicata, utilizando-se a equação proposta por DICKERSON (1965).

$$\alpha = \frac{AR_c^2}{4(T_s - T_c)} \quad (1.6)$$

em que:

α – difusividade térmica, m^2s^{-1}

A – taxa constante de aquecimento, $^{\circ}\text{C/s}$

R_c – raio do cilindro, m

T_s – temperatura na superfície do cilindro de raio, R_c $^{\circ}\text{C}$

T_c – temperatura no centro do cilindro, $^{\circ}\text{C}$

O aparato utilizado consiste em um cilindro de aço inoxidável com 4,79 cm de raio interno e 24 cm de comprimento interno útil, com rolhas de nylon nas extremidades, para vedação. O cilindro tem dois termopares tipo K, um soldado na superfície externa e o outro no centro, inserido através do centro de uma das rolhas, de modo a medir a temperatura no centro radial e em posição equidistante das extremidades. Recipiente de vidro com base retangular de 42 cm de comprimento, 32 cm de largura e 30 cm de altura com capacidade para 40,32 l, sistema de aquecimento da água composto de uma resistência elétrica, tensão 220 V e potência 500W, hélice, controlador de temperatura e um medidor de temperatura da marca Digi Sensi modelo Cole Parmer (Figura 1.3).

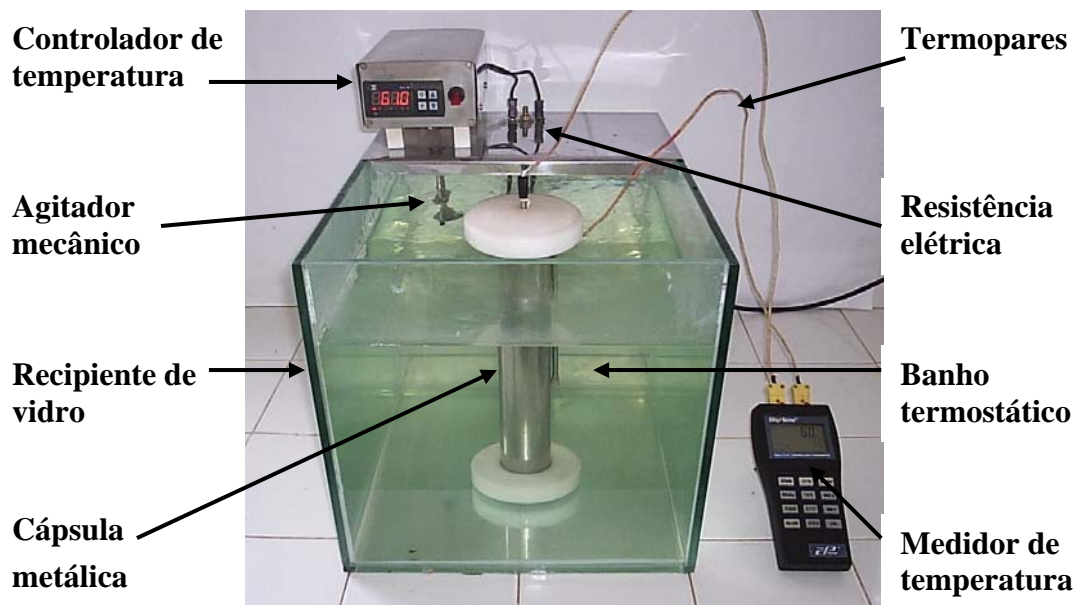


Figura 1.3 – Esquema utilizado para a determinação da difusividade térmica (DICKERSON, 1965)

O cilindro foi preenchido com o produto; a seguir, mergulhava-se o aparato no banho termostático, onde era aquecido até a temperatura de 60 °C, registrando-se as temperaturas: T_1 no centro do cilindro e T_2 na superfície do cilindro, por um termopar tipo K com 0,12 mm; as leituras foram realizadas a cada minuto utilizando-se o aparelho Digi Sensi modelo Cole Parmer; o processo de difusividade durou aproximadamente 100 minutos.

1.3.6.2 – Calor específico

Para determinação do calor específico da polpa de umbu, extrato de soja e das três formulações da umbuzada, foi utilizado o método das misturas, no qual o produto com massa e temperatura conhecida foi colocado em um calorímetro de mistura, cuja capacidade calorífica foi determinada contendo certa quantidade de água com temperatura conhecida. O calor específico dos produtos foi computado pela equação de balanço de calor entre o calor ganho e o calor perdido pela água do calorímetro e pelo calor perdido ou ganho pelo material. Os testes foram realizados em triplicata, utilizando-se um calorímetro, equipamento que consiste em uma garrafa térmica com capacidade para 1.000 mL, envolvida em camada de 5 cm de isolante térmico (lã de

vidro), em tubo de PVC. A garrafa era fechada com rolha de borracha dotada de furo, por onde era introduzida a haste de um termopar, com a finalidade de observar a temperatura interna, Figura 1.4.



Figura 1.4 – Calorímetro de mistura

Inicialmente, realizou-se a estabilização da temperatura no interior do calorímetro, adicionando-se água ($m_1 = 100\text{g}$) a temperatura ambiente, aproximadamente $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_1); logo após, foi adicionada uma massa de água resfriada ($m_2 = 100\text{g}$) com temperatura de aproximadamente $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_2). Agitava-se lentamente o calorímetro e se registrava a temperatura T_3 no equilíbrio, conforme Equação 1.3.

O calor específico do extrato de soja, polpa de umbu e das três formulações da umbuzada, foi determinado de acordo com a Equação 1.7.

$$m_p c_p (T_4 - T_5) = c_l m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (1.7)$$

em que:

m_p – massa do produto, g

c_p – calor específico do produto, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$

T_4 – temperatura inicial do produto, °C

T_5 – temperatura de equilíbrio, °C

m_3 – soma das massas $m_1 + m_2$, g

c_1 – calor específico da água, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$

1.3.6.3 – Massa específica

As massas específicas do extrato de soja e das três formulações da umbuzada foram determinadas em triplicata, por imersão, utilizando-se um termolactodensímetro da marca INCOTERM 5582 – Escala: 1.000/1.100, a partir da leitura da escala graduado em graus densintométricos. A massa específica da polpa de umbu foi determinada utilizando-se o método picnométrico na temperatura de 25 °C ; o método consiste na medida da massa de um volume conhecido do líquido em um picnômetro de 25 mL. A densidade foi calculada como a razão entre a massa e o volume da amostra, conforme Equação 1.4.

1.3.6.4 – Condutividade Térmica

A condutividade térmica (k) das três formulações da umbuzada, extrato de soja e da polpa de umbu, foi calculada através da relação entre a difusividade térmica (α), calor específico (c_p) e densidade (ρ), expressa através da Equação 1.9.

$$k = \frac{\alpha}{\rho \cdot c_p} \quad (1.9)$$

em que:

K – condutividade térmica, $\text{W m}^{-1}\text{°C}^{-1}$

α – difusividade térmica, m^2s^{-1}

ρ – massa específica, gcm^{-3}

C_p – calor específico, $\text{kJ kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$

1.3.7 – Análise sensorial

A umbuzada composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura, com diferentes concentrações de polpa de umbu (30, 40 e 50%) foi submetida a análise sensorial através do teste de comparação para os atributos cor, aroma e sabor; segundo uma escala hedônica, os provadores não treinados, em número de 40, de ambos os sexos, na faixa etária de 13 a 59 anos, recrutados dentre alunos, funcionários e professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Belo Jardim PE, e da Escola Estadual João Monteiro de Melo – Belo Jardim. A umbuzada descongelada foi homogeneizada em liquidificador doméstico e servida a uma temperatura de 14 °C em copos plásticos descartáveis, com capacidade de 50 mL, codificados com número de três dígitos aleatórios para identificação das amostras. Os provadores avaliaram os produtos respondendo à ficha de avaliação que se encontra em anexo (Apêndice A.1) em que foram utilizadas as expressões desgostei muito e gostei muito, nas extremidades. Eram postos à disposição dos provadores água mineral e biscoito tipo água e sal, para serem servidos após a degustação de cada amostra.

1.3.8 – Análise estatística

As análises estatísticas dos dados de difusividade térmica, calor específico, massa específica e condutividade térmica, foram realizadas através do delineamento inteiramente casualizado, com o auxílio do software ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA, 2008) e a análise sensorial, pelo programa computacional CONSENSOR 1.1.

1.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 – Caracterização físico-química da polpa de umbu

Na Tabela 1.3 estão expressos os valores médios da caracterização físico-química da polpa de umbu.

Observa-se que os valores médios do teor de água (89,08%), sólidos totais (9,0 °Brix), e pH (2,77), da polpa de umbu, são inferiores aos determinados por FERREIRA (2000) e GALDINO (2003) respectivamente.

A quantidade de cinzas apresentou, em média 0,36%, sendo bastante similar à encontrada por GALDINO (2003), de 0,35%. Os resultados da acidez total titulável (3,04%) e de carboidratos (9,71%) encontrados para a polpa de umbu, são superiores ao determinado por ALMEIDA (1999), que foram de 1,07%, POLICARPO *et al.* (2002), de 1,45% e por SOUZA *et al.* (2010) para os carboidratos (7,96%).

Os valores de proteínas (0,72%) e lipídios (0,14%), encontrados para a polpa de umbu foram inferiores aos valores encontrados por SOUZA (2008), de 0,72% para proteínas e 0,11% para lipídios, respectivamente.

Tabela 1.3 – Valores médios das características físico-químicas da polpa de umbu

Parâmetros físico-químicos	MÉDIA
Teor de água (%)	89,08
Sólidos Solúveis (°Brix)	9,0
pH	2,77
Cinzas (%)	0,36
Acidez Total Titulável (% de ácido cítrico)	3,04
Carboidratos (%)	9,71
Proteínas (%)	0,72
Lipídios (%)	0,14
Valor calórico (Kcal/100 g)	42,93

Na Tabela 1.4 verificaram-se os valores médios dos parâmetros físico-químicos dos grãos de soja e dos extratos de soja nas proporções de soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Observa-se que os valores médios dos grãos de soja e do extrato de soja com proporção soja:água de 1:8 foram maiores valores de proteínas, carboidratos, lipídios,

acidez, cinzas e energia, em relação aos valores dos parâmetros físico-químicos dos extratos de soja com proporções soja: água 1:10 e 1:12. De acordo com o teste de Tuckey a 5% de probabilidade, enquanto os maiores valores de pH (6,36 e 6,73) e teor de água (94,14 e 96,68%) foram encontrados para os extratos de soja nas proporções soja:água de 1:10 e 1:12, respectivamente.

Tabela 1.4 – Comparação entre as médias dos parâmetros físico-químicos dos grãos de soja e do extrato de soja, nas diferentes proporções de soja:água (1:8, 1:10 e 1:12)

Determinação	Grão de soja	Proporção soja:água		
		1:8	1:10	1:12
Proteínas (%)	33,70 a	3,30 b	1,58 c	1,51 c
Carboidratos (%)	37,20 a	3,13 b	1,37 c	1,15 c
Lipídios (%)	13,70 a	1,10 b	0,95 b	0,50 c
pH	6,51 b	5,77 d	6,36 c	6,73 a
Acidez total titulável (%)	5,11 a	0,84 b	0,79 b	0,21 c
Cinzas (%)	4,04 a	0,30 b	0,18 c	0,15 c
Teor de água (%)	11,35 d	93,92 c	94,14 b	96,68 a
Valor calórico (kcal/100g)	406,95 a	28,60 b	27,47 c	15,15 d

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tuckey a nível de 5% de probabilidade

1.4.2 – Determinação das propriedades termofísicas

Tem-se, na Tabela 1.5, as médias das propriedades termofísicas da polpa de umbu, extrato de soja e das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada composta de extrato de soja e diferentes percentuais de polpa de umbu (30, 40 e 50%) e rapadura.

Verifica-se que os valores de difusividade térmica encontrados para a polpa de umbu, extrato de soja e das formulações com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, foram iguais a $1,5 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$, $1,442 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$, $1,377 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$, $1,353 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ e $1,327 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ respectivamente. Esses valores se encontram dentro da faixa de valores de difusividade térmica obtidos por ARAUJO *et al.* (2004) cujo valor foi de $1,31 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$, ao trabalharem com a polpa de cupuaçu, e MUNIZ (2004), que encontrou valor de difusividade térmica igual a $1,637 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ para a polpa de bacuri. Notam-se ainda que

os valores da difusividade térmica das formulações diminuíram com o aumento da concentração da polpa de umbu. LIMA *et al.* (2003) constataram estudando o comportamento da polpa de umbu com diferentes concentrações, que ocorreu decréscimo da difusividade térmica de $1,35 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a $1,52 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ com o aumento da concentração da polpa de umbu.

Tabela 1.5 – Valores médios das propriedades termofísicas para a polpa de umbu, extrato de soja e formulações da umbuzada

Amostras	Difusividade térmica (α) ($10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Massa específica (ρ) (g cm^{-3})	Calor específico (C_p) ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	Condutividade térmica (k) ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Polpa de umbu	1,500 a	1,407 a	1,004 e	1,062 d
Extrato de soja	1,442 b	1,013 e	1,088 d	1,307 a
Formulação c/ 30% de umbu	1,377 c	1,030 d	1,138 c	1,174 b
Formulação c/ 40% de umbu	1,353 d	1,074 c	1,158 b	1,088 c
Formulação c/ 50% de umbu	1,327 e	1,156 b	1,174 a	0,977 e

CV % = 0,07144 ; MG = 1,39980 DM = 0,00269

Observa-se que os valores da massa específica das formulações estão entre os valores encontrados para a polpa de umbu e o extrato de soja, cujos valores foram de $1,407 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,013 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Observa-se que os valores da massa específica das formulações aumentaram com a elevação da concentração da polpa de umbu e tal comportamento é explicado pela elevação dos teores de sólidos totais das formulações. PEREIRA *et al.* (2001) observaram ao estudar a massa específica da polpa de açaí, que esses valores diminuíram com o aumento no teor de sólidos totais.

Nota-se também, que os valores do calor específico das amostras apresentaram diferenças significativas com variações entre um mínimo de $1,004 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ da polpa de umbu e máximo de $1,174 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ da formulação com 50% de polpa de umbu. Comparando os valores de calor específico das formulações com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, percebe-se que ocorreu aumento do calor específico com o aumento do percentual de polpa, comportamento que deve ser justificado, provavelmente pela redução do teor de água das formulações. BONUM *et al.* (2010) perceberam, estudando o comportamento do calor específico da polpa de manga, que houve diminuição em seus

valores com a diminuição do teor de água, sendo esses valores de 0,4 e 0,93 kJ kg⁻¹°C⁻¹ para 9% de água, 3,72 kJ kg⁻¹°C⁻¹ para o teor de água de 4% e para 2,3% de água 3,362 kJ kg⁻¹°C⁻¹.

Os valores médios da condutividade térmica da polpa de umbu, extrato de soja e das formulações com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, correspondem a 1,062 W m⁻¹°C⁻¹, 1,307 W m⁻¹°C⁻¹, 1,174 W m⁻¹°C⁻¹, 1,088 W m⁻¹°C⁻¹ e 0,977 W m⁻¹°C⁻¹, respectivamente. Nota-se que os valores de condutividade térmica diminuíram significativamente com o aumento do percentual de polpa de umbu, em razão da diminuição do teor de água das formulações cujos valores são 80,82 (30%), 80,26 (40%) e 79,32 (50%). O mesmo comportamento foi observado por SHAMSUDIN *et al.* (2005) para o suco de goiaba. Segundo NUNES *et al.* (2002), a condutividade térmica apresenta uma relação direta com o conteúdo de água, a qual aumenta com o aumento do teor de água.

1.4.3 – Análise sensorial

Na Tabela 1.6 se encontram as médias e os coeficientes de concordância (CC) atribuídos pelos 40 provadores aos parâmetros sensoriais: cor, aroma e sabor, para as diferentes proporções soja/água (1:8, 1:10 e 1:12) e para as diferentes concentrações de polpa de umbu.

Percebe-se na tabela acima, que a maioria das notas atribuídas para todos os parâmetros ficou entre a nota 3 e 4, na escala hedônica de 5 pontos utilizada, significa que o produto foi avaliado em todas suas características sensoriais, de forma que é possível afirmar que entre as proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12) a preferência dos provadores foi pela proporção soja:água 1:8 nas concentrações de 30%, 40% e 50% de polpa de umbu para os parâmetros de cor, aroma e sabor, fato confirmado pelas maiores médias e coeficientes de concordância obtidos, o que corresponde ao valor entre “gostei ligeiramente e gostei muito”.

Tabela 1.6 – Comparação entre as médias e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma e sabor para as diferentes proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12) e para as diferentes concentrações de polpa de umbu

Concentração de polpa de umbu	Proporção de soja:água	Cor	CC%	Aroma	CC%	Sabor	CC%
30%	1:8	3,67	38,53	3,70	31,87	3,65	30,35
	1:10	3,17	36,87	3,32	35,14	3,55	24,36
	1:12	3,30	24,69	3,32	17,23	3,50	24,06
40%	1:8	4,12	39,33	4,20	49,84	4,15	42,94
	1:10	3,47	31,12	3,57	36,01	3,32	26,51
	1:12	3,97	38,93	3,95	35,79	4,12	42,02
50%	1:8	4,27	50,62	4,12	58,53	4,25	37,39
	1:10	3,77	31,87	3,42	31,87	3,85	31,62
	1:12	4,20	46,94	3,92	31,38	3,95	33,00

1.5 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- O extrato de soja na proporção de 1:8 apresentou os maiores valores de proteínas, carboidratos, lipídios, pH, cinzas e valor calórico;
- A acidez total titulável e o teor de água são diretamente dependentes da razão soja:água;
- A difusividade térmica e a condutividade térmica das formulações diminuíram significativamente com o aumento do percentual de polpa de umbu, cujos valores de difusividade térmica variaram de $1,50 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a $1,327 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e para condutividade térmica valores de $1,31 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ a $0,98 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, para a polpa de umbu, extrato de soja e para as várias concentrações das formulações;
- A massa específica das formulações variou de $1,03 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,156 \text{ g cm}^{-3}$ com o aumento da adição de polpa de umbu;
- O calor específico das amostras apresentou diferenças significativas com variações entre um mínimo de $1,004 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ da polpa de umbu e máximo de $1,174 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ da formulação com 50% de polpa de umbu;
- A preferência dos provadores quanto à cor, ao aroma e ao sabor, foi pela proporção de soja:água de 1:8 nas concentrações de 30, 40 e 50% de polpa de umbu;

1.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, T. L.; LIMA, M. A.; OLIVEIRA, V. S.; COELHO, R. M. D.; RODRIGUES, M. C. P. Processamento e aceitação sensorial de produto do tipo hambúrguer à base de soja (*glycine max*) e atum (*thunnus spp*). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.27, n.2, p.191-198, 2009.

ALDIN, E.; REITMEIER, H. A.; MURPHY, P. Bitterness of soy extracts containing isoflavones and saponins. **Journal of Food Science**, v.71, n.3, p.211-215, 2006.

ARAÚJO, J. L., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v.28, n.1, p. 126-134, 2004;

BASTOS, D. H. M.; FRANCO, M. R. B.; DA SILVA, M. A. A. P.; JANZANTTI, N. S.; MARQUES, M. O. M. Composição de voláteis e perfil de aroma e sabor de méis de eucalipto e laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.22, n.2, p.122-129. 2002.

BAYRAM, M.; KAYA, A. ONER, M. D. Changes in properties of soaking water during production of soybulgur. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.61, n.2, p.221-339, 2004.

BEHRENS, J. H.; SILVA, M. A. A. P. Atitude do consumidor em relação à soja e produtos derivados. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v.24, p.431-439, 2004.

BEHRENS, J. H.; ROIG, S. M.; DA SILVA, M. A. A. P. Aspectos de Funcionalidade, de Rotulagem e de Aceitação de Extrato Hidrossolúvel de Soja Fermentado e Culturas Lácteas Probióticas. **Boletim SBCTA**, v.34, n.2, p.99-106, 2001.

BENEDETTI, A. C. E. P.; FALCÃO, D. P. Monitoramento da qualidade higiênico-sanitária no processamento do “leite” de soja na UNISOJA, Araraquara, SP. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 23 (Supl.): p.200-205, 2003.

BONUM, J.; VÁQUIRO, H.; BENEDITO, J.; ROMERO, J. T. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. Tommy Atkins). **Journal of Food Engineering**, v.97, p.563-568, 2010.

BRANCO, I. G.; TEIXEIRA, M. R.; RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M.; COUTINHO, M. R.; ARGANDOÑA, E. J. S.; BASTOS, R. G. Avaliação da aceitabilidade sensorial de uma bebida à base de extrato hidrossolúvel de soja, polpa de morango e sacarose. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.9, n.1, 2007.

BRASIL, Instrução normativa nº1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o Regulamento Técnico para a Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para a polpa de fruta. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília DF, 10 de jan. 2000. Seção 1, n.6, p.54-58.

CARDOSO, L. R.; OLIVEIRA, M. G. A.; MENDES, F. Q.; PIRES, C. V.; RIBEIRO, F. R.; SANTANA, R. C. O.; MOREIRA, M. A. Atividade de inibidores de proteases em linhagens de soja geneticamente melhoradas. *Revista Alimentos e Nutrição*. Araraquara, v.18, n.1, p.19-26, 2007.

CAVALHEIRO, S. F. L.; TININIS, C. R. C. S.; TAVANO, O. L.; CUSTÓDIO, M. F.; ROSSI, E. A.; CARDELLO, H. M. A. B. Biscoito sabor chocolate com resíduo de soja “okara”: teste afetivo com crianças em idade pré-escolar. **Revista Alimentos e Nutrição**, v.12, p.151-162, 2001.

CASÉ, F. V.; DELIZA, R.; ROEHENTAL, A.; WAKELING, I. Avaliação da aceitação pelo consumidor de “leite de soja” enriquecido com cálcio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18. 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2002. (CD-ROM).

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Viçosa: UFV, 2002, 81p.

CIABOTTI, S.; BARCELOS, M. F. P.; PINHEIRO, A. C. M.; CLEMENTE, P. R.; LIMA, M. A. C. **Características sensoriais e físicas de extratos e tofus de soja comum processada**

termicamente e livre de lipoxigenase. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v.27, n.3, p.787-792, 2007.

CIABOTTI, S. **Aspectos químico, físico-químico e sensorial de extratos de soja e tofus obtidos dos cultivares de soja convencional e livre de lipoxigenase.** 2004. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

COUTINHO, M. R.; OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, L. M. M. Modelagem e validação dos grãos de soja. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Campinas, v.25, n.3, p.603-610, 2005.

DE ANGELIS, R. C. alimentos de origem vegetal são saudáveis: verdades e alguns questionamentos. **Nutrição em Pauta**, ano X, n.57, p.30-40, 2002.

DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology.** v.52, p.880-886, 1965.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos.** 2ª ed. Curitiba, 2007. 239p.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil.** 2003. 237p.

EISEN, B.; UNGAR, Y.; SHIMONI, E. Stability of isoflavones in soy milk stored at elevated and. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.2212-2215, 2003.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; LAUREANO, J. Efeito dos métodos de conservação, tipos de embalagens e tempo de estocagem na coloração de polpa de manga "Ubá" produzida em sistema orgânico. **Revista Ceres**, v.55, n.6, p.504-511, 2008.

FEARNSIDE, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v.28, n.1, p.23-38, 2001.

FERREIRA, J. C. **Efeito do congelamento ultra-rápido sobre as características físico-químicas e sensoriais de polpa de umbu (Spondias tuberosa Arruda Câmara) durante a**

armazenagem frigorificada. 2000. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

FLIGHT, I.; CLIFTON, P. Cereal grains and legumes in the prevention of coronary heart disease and stroke: a review of the literature. **European Journal of Clinical Nutrition**, Southampton, v.60, n.10, p.1145-1159, 2006.

FRANÇA, J. A. **Cinética de congelamento, análise físico-química e sensorial do leite de cabra armazenado em diferentes temperaturas**. 2009, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, PB.

FRIEDMAN, M.; BRANDON, D. L. Nutritional and health benefits of soy proteins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.49, n.3, p.1069-1086, 2001.

GALDINO, P. O. **Desidratação de polpa de umbu**. 2003. 92f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, PB.

HAULY, M. C. O.; FUCHS, R. H. B.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H. Suplementação de iogurte de soja com frutooligossacarídeos: características probióticas e aceitabilidade. **Revista Nutrição**, Campinas, v.18, n.5, p.613-622, 2005.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 5ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, Brasil, 698p. 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo. 4ª edição, 2005. 1032p.

JACKSON, C.J.C.; DINI, J.P.; RUPASINGHE, H.P.V.; FAULKNER, H.; POYSA, V.; BUZZELL, D.; DEGRANDIS, S. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. **Process Biochemistry**, Oxford, v.37, n.10, p.1117-1123, 2002.

KIM, J. S.; KWON, C. S. Estimated dietary isoflavone intake of korean population base don national nutrition survey. **Nutrition Research**, Oxford, v.21, n.7, p.947-953, 2001.

LIMA, I. J. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.31-42, 2003.

LIU, J.; CHEN, M.; LIN, C. Antimutagenic and antioxidant properties of milk-kefir and soymilk-kefir. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.2467-2474, 2005.

LOURES; M. M. R.; MINIM; V. P. R.; CERESINO; E. B.; CARNEIRO; R. C.; MINIM, LUIS ANTONIO. Análise descritiva por ordenação na caracterização sensorial de iogurte diet sabor morango enriquecido com concentrado protéico do soro. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.3, p.661-668. 2010

MAIA, M. J. L.; ROSS, E. A.; CARVALHO, M. R. Qualidade e rendimento do "leite" de soja da unidade de produção de derivados da soja –UNISOJA. **Revista Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v.17, n.1, p.65-72, 2006.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Calor específico da polpa de cajá a temperaturas criogênicas e diferentes concentrações de sólidos solúveis: métodos das misturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.1-7, 2003

MUNIZ, M. B. **Características químicas, reológicas e termofísicas de polpa de bacuri**. 2004. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, PB.

MENDES DA LUZ, L.; SPRANGOSKI, A. L.; BORTOLOZO, E. A. F. Q. **Processo de produção de “iogurte de soja” na unidade de produção de alimentos**. UTFPR. Ponta Grossa, Paraná. ISBN, v.01, p.41-46, 2007.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York, Science Publishers, 1980 407p.

MORAES, R. M. de. **Montagem e avaliação de um equipamento para desodorização de “leite de soja” por arraste de vapor superaquecido**. 2002. 51f. Tese (Doutorado em engenharia de Alimentos) UNICAMP. Campinas,

MORAES, R. M.; HAJ-ISA, N. M. A.; ALMEIDA, T. C. A.; MORETTI, R. H. Efeito da desodorização nas características sensoriais de extratos hidrossolúveis de soja obtidos por diferentes processos tecnológicos. In: **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.1, p.46-51, 2006.

MURPHY, P. A.; BARUA, K.; HAUCK, C. C. Solvent extraction in the determination of isoflavones in soy foods: **Journal of Chromatography**, B, Amsterdam, v.777, n.1/2, p.129-138, 2002.

NASCIMENTO, J. P. T. **Processamento de polpa de umbu (Spondias tuberosa Arruda Câmara) para umbuzada: cinética de concentração e armazenamento frigorificado**, 2003. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, PB.

NUNES, A. S.; PARK, K. J.; DAL FABRO, I. M.; PARK, K. J. B.; BROD, F. P. R. Métodos de determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de materiais biológicos. Revisão, **Bol. SBCTA**, Campinas, v.36, n.1, p.55-68, 2002.

OLIVEIRA, G. A. **Propriedades termofísicas de mistura proteica resultante da hidrólise de subprodutos da indústria frigorífica**. 2009, 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná.

PACHECO, M. T. B.; SGARBIERI, V. C. Alimentos Funcionais: conceituação e importância na saúde humana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE OS BENEFÍCIOS DA SOJA PARA A SAÚDE HUMANA, 1., 2001, Londrina, 2001. **Anais...** Embrapa Soja, 2001, p.37-40.

PENHA, L. A. O.; FONSECA, I. C. B.; MANDARINO, J. M.; BENASSI, V. T. A soja como alimento: valor nutricional, benefícios para a saúde e cultivo orgânico. **Boletim. CEPPA**, Curitiba, v.25, n.1, 2007.

PEREIRA, E. A. **Propriedades termofísicas de polpa de açaí**. 2001. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande.

POLICARPO, V. M. N.; RESENDE, J. M.; ENDO, E.; BORGES, S. V. CAVALCANTI, N. B.; OLIVEIRA, V. M. Caracterização físico-química de polpa de umbu em diferentes estádios de maturação. **XVIII Congresso brasileiro de Tecnologia de Alimentos**, Porto Alegre-RS, 2002.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Produtos protéicos de soja. In: OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Editora Manole Ltda. 2006, 605p.

RODRIGUES, R. S.; MORETTI, R. H. Caracterização físico-química de bebida protéica elaborada com extrato de soja e polpa de pêssego. **Boletim. Centro de pesquisa do Paraná**, Curitiba, v.26, n.1, p.101-110, 2008.

RODRIGUES, R. S.; GOZZO, A. M.; MORETTI, R. H. Comportamento reológico de extratos de grãos, farinha integral e isolado protéico de soja. **Boletim. Centro de pesquisa do Paraná**, Curitiba, v.21, n.2, p.367-378, 2003.

ROSSI, E. A.; ROSIER, I. DÂMASIO, A. R.; CARLOS, I. Z.; VENDRAMINI, ABDALLA, D. S.P.; TALARICO, V. H.; MINTO, D. F. Determinação de isoflavonas nas diversas etapas de processamento do “iogurte” de soja. **Revista Alimentos e Nutrição**, v.15, n.2, p.93-99, 2004.

SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I. O.; YAMAN, N. K. M. Thermophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.3, p.395-399, 2005.

SILVA, F. S. A. Assistat Versão 7.5 Beta. Campina Grande: UAEG, CTRN, UFCG. 2008.

SIMÕES, D. R. S.; WASZCZYNSKYJ, N.; WOSIACKI, G. Aromas em maçãs, suco e sidra. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.27, n.1, p.153-172. 2009.

SOUZA, M. A.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. C. I.; MINIM, L. A.; COIMBRA, J. S. R. Thermophysical properties of umbu pulp. **Journal Food Technology**, Campinas, v.13, n.3, p.219-225, 2010.

SOUZA, M. A. **Determinação das propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus heterophilus* Lamk.) e umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Câmara).** 2008. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). UESB. Ipatinga, BA.

SPRANGOSKI, A. C.; SPRANGOSKI, A. L.; SCHWAB, L. M.; SCHEMIN, M. H. C.; FRANCISCO, A. C. **Avaliação Sensorial Aplicada para detectar alterações na processamento do extrato hidrossolúvel de soja.** UTFPR – Paraná, v.01, p.19-23, 2007.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETA, P. A. **Análise sensorial de alimentos.** Florianópolis, ed. UFSC, 1987. 180p. (série didática).

VALIN, M. F.; ROSSI, E. A.; SILVA, R. S.; BORSATO, D. Sensory acceptance of a functional beverage based on orange juice and soymilk. **Braz. J. Food Technol.**, v.6, n.2, p.153-156, 2003.

VIANA, A. D. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperaturas.** 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB.

ZEOLA, N. M. B. L.; SOUZA, P. A.; SOUZA, H. B. A. SILVA SOBRINHO, A. G. Características sensoriais da carne de cordeiro maturada e injetada com cloreto de cálcio. **Archivos de Zootecnia**, v.59, n.228, p.539-548. 2010.

ZADINELLO, R. E.; COELHO, S. R. M.; TÊO, C. R. P.; NÓBREGA, L. H. P. Métodos de extração, formulação e avaliação sensorial de produto à base de extrato hidrossolúvel de soja. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v.1, n.1, p.111-120, 2010.

Capítulo 2

**Comportamento reológico da polpa de umbu,
extrato de soja e das três formulações
da umbuzada**

2.1 – INTRODUÇÃO

Em termos de nutrição a soja é um dos alimentos mais ricos e possui vários elementos fundamentais para o organismo humano (GARZONI, 2002). A soja apresenta grande valor nutritivo, constituindo-se em importante fonte de calorias (em forma de lipídios), proteínas (quantidade doze vezes superior ao leite e duas vezes o da carne), muitos minerais e algumas vitaminas (DA LUZ *et al.*, 2007).

Apesar do grande potencial do extrato de soja, no passado, foi baixa sua aceitação no Brasil devido, basicamente, ao sabor e ao aroma desagradáveis ao paladar dos consumidores brasileiros. A ação das enzimas presentes nos grãos de soja sobre os ácidos graxos poli-insaturados confere ao produto final, um sabor que lembra feijão cru.

BEHRENS e DA SILVA (2004) citam que a indústria nacional tem feito uso de novas tecnologias na obtenção do “leite” de soja para o mercado interno, que apresenta melhor qualidade sensorial. Novos produtos comerciais à base de extrato hidrossolúvel em combinação com suco de frutas, têm obtido êxito no mercado indicando que os consumidores podem estar mudando sua atitude em relação aos produtos à base de soja.

O “leite” de soja ou extrato hidrossolúvel de soja, é obtido por meio de extração aquosa dos grãos de soja, tendo aspecto semelhante ao leite de vaca, quando preparado em condições técnicas adequadas. Ele pode ser comercializado na forma esterilizada ou pasteurizada, com adição ou não de aromatizantes (BENEDETTI e FALCÃO, 2003).

Como alternativa agro-industrial para a região semiárida do Nordeste do Brasil, está comprovada a viabilidade do aproveitamento do umbu para a indústria de alimentos, pois seu processamento propicia sua comercialização na forma de polpa congelada.

O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos é fundamental no dimensionamento e na operacionalização de equipamentos envolvidos no seu processamento, tal como no controle de qualidade e na determinação da sua vida de prateleira. Muitos dos atributos sensoriais associados à textura de emulsões alimentícias estão diretamente relacionados com propriedades como a viscosidade (BUFFO e REINECCIUS, 2002), parâmetro intimamente ligado à aceitabilidade do produto, pelos consumidores (YANES *et al.*, 2002).

2.1.1 – Objetivo

- a) Estudar o comportamento reológico da solução soja (g):água (mL) 1:8, da polpa de umbu e três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada (Formulação F1: compostas de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2: 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e F3: 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.
- b) Verificar, dentre os modelos de Ostwald-deWaelle (Lei da Potência) e Casson, o que melhor representa o comportamento reológico do extrato de soja, polpa de umbu e das três formulações da umbuzada.

2.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 – Reologia

Reologia é o estudo que investiga as propriedades e o comportamento mecânico de corpos que sofrem deformação (sólidos elásticos) ou escoamento (fluido: líquido ou gás) devido à ação de uma tensão de cisalhamento num corpo sujeito a uma força cortante, força por unidade de área da seção transversal do corpo. Segundo MOTTA (2007) o termo Reologia foi introduzido pelo Professor Bingham do Lafayette College para descrever a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria. Conforme VANDRESEN (2007) reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem, como objetivo, estudar a deformação e o escoamento dos materiais. A operação fundamental em um teste reológico é aplicar uma força no material a ser investigado e medir sua deformação ou, igualmente, aplicar uma deformação e medir a resistência.

2.2.1.1 – Viscosidade

É a medida da resistência interna ou atrito interno de uma substância ao fluxo quando submetida a uma tensão. Quanto menos viscosa a massa mais fácil de escoar e maior o seu coeficiente de viscosidade.

A viscosidade é a propriedade física de um líquido de resistir ao fluxo induzido pela tensão aplicada (cisalhamento). Ela é dependente da natureza físico-química da substância, temperatura, pressão, taxa de cisalhamento e do tempo; para definir a viscosidade em função de um desses fatores, os outros devem ser mantidos constantes e bem definidos (CASTRO, 2007).

A viscosidade de um líquido mede a resistência interna oferecida ao movimento relativo de diferentes partes desse líquido. A viscosidade mede a resistência de um líquido em fluir (escoar) e não está diretamente relacionada com a densidade do líquido, que é a relação massa/volume. Por exemplo, o óleo de soja utilizado para cozinhar é mais viscoso que a água, embora seja menos denso. Apesar da nítida diferença entre viscosidade e densidade, é comum ouvir a frase “este líquido é muito denso” para se referir a um líquido que tem dificuldade em escoar. A frase correta deveria ser “este líquido é muito viscoso”. SCHRAMM (2006) cita

que as medidas de viscosidade sempre resultam, primeiro em uma curva de fluxo, em que os resultados são rearranjados matematicamente, para que seja possível traçar a curva de viscosidade correspondente.

Nos fluidos, todas as deformações envolvem algum tipo de escoamento o que torna seus efeitos totalmente irreversíveis, salvo nos casos dos fluidos viscoelásticos, onde parte da deformação pode ser recuperada (NAVARRO, 1997).

2.2.1.2 – Classificação reológica dos fluidos

De acordo com GOUVEIA (2007), em geral os líquidos são classificados em função do seu comportamento reológico o qual envolve a determinação e a análise da relação entre tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade, chamado taxa de deformação, para determinada condição de temperatura e pressão.

De acordo com TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS (2005) na área de alimentos o conhecimento do comportamento reológico tem várias aplicações como em projetos e avaliações de processos, controle de qualidade das matérias-primas, correlação com avaliação sensorial, testes de vida de prateleira, tanto nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação, como no produto final. Segundo VANDRESEN (2007) os alimentos apresentam comportamento reológico variado devido à sua complexa estrutura e composição.

Os fluidos são classificados de acordo com seu comportamento reológico por meio da análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para condições de temperatura e pressão estabelecidas. Reologicamente, os fluidos são divididos em duas categorias: newtonianos e não-newtonianos (SILVA, 2008).

2.2.1.2.1 – Fluidos newtonianos

VIDAL (2000) afirma que as propriedades reológicas de fluidos newtonianos são independentes da taxa de cisalhamento e do histórico anterior de cisalhamento, mas dependentes apenas da composição e temperatura. Para um fluido newtoniano ideal a tensão de cisalhamento é uma função linear da taxa de cisalhamento, e a constante de

proporcionalidade para esta relação μ é chamada viscosidade newtoniana. A equação matemática que descreve a viscosidade é dada pela equação:

$$\mu = \mu(\dot{\gamma}) \quad (2.1)$$

em que:

τ – Tensão de cisalhamento, N.m^{-2}

$\dot{\gamma}$ – Taxa de cisalhamento, s^{-1}

μ – Viscosidade newtoniana, Pa.s

2.2.1.2.2 – Fluidos não-newtonianos

Conforme BEZERRA (2010) os fluidos não newtonianos resultam de suspensões coloidais de partículas com flexibilidade e formas diversas que podem formar, entre si, ligações temporárias ou estruturas internas que constituem redes em forma de gel ou emulsão; também são denominados viscoelásticos porque combinam as características de um fluido viscoso com as de um sólido elástico

Para fluidos não-newtonianos o termo viscosidade é substituído por η_{ap} que é a viscosidade aparente, é função do gradiente de velocidade (VIDAL, 2000) e é descrito conforme a Equação 2.2.

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

em que:

η_a – Viscosidade aparente, Pa.s

τ – Tensão de cisalhamento, N.m^{-2}

$\dot{\gamma}$ – Taxa de cisalhamento, s^{-1}

2.2.1.2.3 – Fluidos viscoelásticos

Para McCLEMENTS (2005) os líquidos viscosos não possuem forma geométrica definida e escoam irreversivelmente quando submetidos a forças externas. Por outro lado, os sólidos elásticos apresentam forma geométrica bem definida e, se deformados pela ação de forças externas, assumem outra forma geométrica de equilíbrio. Muitos materiais apresentam comportamento mecânico intermediário entre esses dois extremos, evidenciando tanto características viscosas como elásticas e, por este motivo, são conhecidos como viscoelásticos. Muitos produtos alimentícios não são líquidos puros ou sólidos puros mas possuem propriedades reológicas que são parcialmente viscosas e parcialmente elásticas. Segundo VIDAL (2000) quase todas as soluções de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico e, muitas vezes, este comportamento não é detectado por instrumentos não preparados para essas medidas; clara de ovo é o exemplo típico do comportamento viscoelástico.

2.2.1.2.4 – Fluidos dependentes do tempo

Os fluidos dependentes do tempo são classificados em tixotrópicos e reopéticos; são tixotrópicos quando a tensão de cisalhamento diminui com o tempo de aplicação de certa taxa de cisalhamento; Já nos fluidos reopéticos a tensão cisalhante aumenta com o tempo, mantendo-se a mesma taxa de deformação, Figura 2.1.

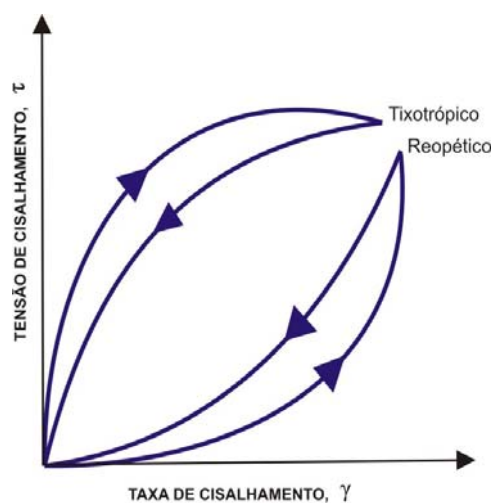


Figura 2.1 - Reograma para fluidos dependentes do tempo

2.2.1.4.1 – Fluidos Tixotrópicos

Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante e quando o fluido fica em repouso, retorna à condição original. Fluidos desse tipo são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos, por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre menor resistência ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo, até um valor constante ser alcançado (VANDRESEN, 2007). Tem-se, como exemplos desse fluido, as tintas e muitas argilas, particularmente a bentonita, que se “liquefaz” por agitação e se “solidifica” quando em repouso, além de pastas de frutas, gelatinas e manteigas, entre outros (POSSA e LIMA, 2000). Este fenômeno isotérmico e reversível é fruto da destruição gradual da “estrutura” construída pelas partículas da fase dispersa cuja força de ligação não resiste à ação do cisalhamento imposto (NAVARRO, 1997). A tixotropia pode ser também escamoteada se a taxa de deformação aplicada for muito alta, caso em que a estrutura interna pode ser imediatamente destruída.

De acordo com GONÇALVES (1989) suco concentrado de maracujá, polpa de frutas, leite condensado, alguns méis de abelha, maionese e clara de ovo, são produtos alimentícios considerados tixotrópicos.

Alguns fluidos alimentícios, como polpa de frutas e vegetais, ketchup, mostarda e formulados infantis, apresentam comportamento tixotrópico de difícil ajuste, visto que necessitam de parâmetros que quantifiquem sua dependência com o tempo de cisalhamento (CHOI e YOO, 2004).

2.2.1.4.2 – Fluidos reopéticos

Em alguns alimentos a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Há diferentes razões para este comportamento; a mais importante é que o cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar para um aumento de agregados e, conseqüentemente, aumento na viscosidade aparente. Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (HAMINIUK, 2005).

2.2.1.5 – Fluidos independentes do tempo

Os comportamentos que não dependem do tempo onde o fluido é essencialmente viscoso mas sua viscosidade aparente varia com a taxa de deformação ou a situação em que o fluido é, de alguma forma, estruturada tendo comportamento plástico antes de escoar como fluidos viscosos, podem ser classificados em três categorias: pseudoplástico, dilatante e Bingham (Figura 2.2).



Figura 2.2– Reogramas para vários tipos de fluidos independentes do tempo

2.2.1.5.1 – Fluidos pseudoplásticos

Neste grupo se encontra a maioria dos fluidos de componentes de comportamento não-newtoniano. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais (VIDAL, 2000).

Este tipo de fluido demonstra decréscimo na viscosidade com um aumento na tensão de cisalhamento (McCLEMENTS, 2005), sendo que a taxa de cisalhamento versus tensão de cisalhamento, forma uma linha convexa. Esses fluidos em repouso apresentam um estado desordenado e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada maior também será a ordenação e, conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor.

2.2.1.5.2 – Fluidos dilatantes

Nos fluidos dilatantes a viscosidade aparente aumenta com o aumento da tensão de cisalhamento. Este tipo de fluxo somente é encontrado em líquidos que contêm alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (IZIDORO, 2007). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nesta categoria (SHARMA *et al.* 2000).

2.2.1.5.3 – Fluidos de Bingham

O fluido de Bingham se comporta como sólido sob condições estáticas. Certa quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão inicial). Segundo IZIDORO (2007), os fluidos plásticos de Bingham exibem um comportamento semissólido não autodeformáveis, mas deformável pela aplicação de uma força superior à força mínima de escoamento. Alguns exemplos de fluidos alimentícios que representam esse comportamento são: maionese, margarina, catchup de tomate e substâncias de cobertura, onde o fluxo não é desejado sob condições estáticas (COSTA, 2006). A equação matemática que descreve os fluidos de Bingham é dada pela equação 2.3:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (2.3)$$

em que:

τ – Tensão de cisalhamento, Pa

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação, s^{-1}

τ_0 – Tensão inicial, Pa

η_p – Viscosidade plástica, Pa.s

2.2.1.6 – Modelos reológicos

Os modelos reológicos são usados para uma descrição melhor do comportamento dos fluidos, permitindo relacionar as propriedades reológicas com outras grandezas, como concentração, temperatura e índice de maturação. O conhecimento dessas grandezas é indispensável no controle em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos processos (SILVA, 2008), visto que, quando se estuda o comportamento dos produtos, tenta-

se representá-los pelos modelos para que se permita fazer um estudo comparativo dos resultados obtidos.

O modelo reológico mais simples é o newtoniano, que apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (VANDRESEN, 2007). Segundo CABRAL (2001) a principal função de um modelo reológico é representar matematicamente a relação entre os valores experimentais da tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para determinado fluido e assim permitir o tratamento analítico do escoamento desses materiais. Referidos modelos se baseiam em aspectos fenomenológicos ou teóricos, relacionados com a estrutura do fluido.

Conforme OLIVEIRA *et al* (2011) na literatura há diversas equações que descrevem o comportamento não-newtoniano, entre elas a mais comumente utilizadas são: Lei da Potência (Ostwald-De-Waele), linear (Bingham), Lei da Potência com limite de escoamento (Herschel-Bulkley), CASSON (1959) e MIZRAHI-BERK (1972).

2.2.1.6.1 – Modelo de Ostwald-De-Waale (Lei da Potência)

O modelo de Ostwald-De-Waale, também conhecido como Lei da Potência, é bastante utilizado para descrever os comportamentos reológicos dos fluidos não-newtonianos (pseudoplásticos e dilatantes) de alimentos, devido à sua simplicidade e ampla aplicabilidade (BRANCO, 2001). A equação matemática que representa o modelo Ostwald-De-Waale é.

$$\tau = K \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad (2.4)$$

em que:

τ – Tensão de cisalhamento, Pa

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação, s^{-1}

K – Índice de consistência, $Pa.s^n$

n – Índice de comportamento do fluxo, adimensional

O fluido de Ostwald ou de potência não se aplica a todo e qualquer fluido nem a todo intervalo de taxa de cisalhamento; entretanto, existe um número razoável de fluidos não-

newtonianos que apresentam comportamento de potência, num largo intervalo de velocidades cisalhantes. BOBBIO e BOBBIO (1995) afirmam que quando $n = 1$, $k = n$, ter-se-á, então, um fluido newtoniano, para $n > 1$ caracterizado como fluido dilatante e será classificado fluido pseudoplástico quando $n < 1$, Figura 2.3.

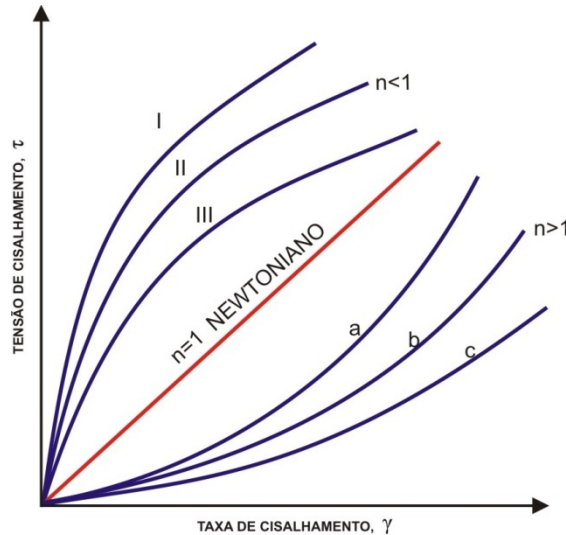


Figura 2.3 – Reogramas de fluidos de Ostwald ou de Potência: I, II, III pseudoplásticos com $0 < n < 1$; a, b, c dilatantes com $n > 1$

2.2.1.6.2 – Modelo de Casson

CASSON (1959) desenvolveu este modelo para uma suspensão de partículas interagindo em um meio newtoniano, obtendo a seguinte expressão matemática:

$$\tau^{1/2} = K_{0c} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2.5)$$

em que:

τ – Tensão de cisalhamento, Pa

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação, s^{-1}

$K_{0c}^{0,5}$ – Tensão de cisalhamento inicial, $Pa^{0,5}$

K_c – Viscosidade plástica de Casson, $Pa.s^{0,5}$

2.2.1.7 – Influência da temperatura sobre o comportamento reológico

Vários fatores afetam a viscosidade dos fluidos, como: temperatura, concentração, tempo, pressão e gradiente de velocidade. Para PELEGRINE (1999) a temperatura é um dos fatores que mais afetam a viscosidade das polpas de frutas, pois a sua maioria se apresenta na forma de sólidos dispersos em meios líquidos, caso em que um aumento da temperatura faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando decréscimo na viscosidade da polpa. Segundo ARÉVALO *et al.* (2006) o efeito da temperatura e da concentração sobre o comportamento reológico necessita ser conhecido para um bom entendimento e dimensionamento de operações unitárias tais como: tratamento térmico, congelamento e concentração.

A temperatura exerce maior efeito no índice de consistência (K) em fluidos alimentícios não-newtonianos, sendo que o índice de comportamento (n) é afetado de forma moderada pela temperatura, mostrando pequeno aumento em temperaturas elevadas (KROKIDA *et al.*, 2001). Para quantificar o efeito da temperatura sobre a viscosidade ou índice de consistência de um fluido Newtoniano ou não-Newtoniano, uma equação do tipo Arrhenius (Equação 2.6) é frequentemente usada.

$$\eta = \eta_{\infty} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.6)$$

em que:

η – viscosidade aparente, Pa.s

η_{∞} – constante empírica, Pa.s

E_a – energia de ativação, kal.mol⁻¹

R – constante universal dos gases, cal.k⁻¹.mol⁻¹

T – temperatura absoluta, K

Segundo KAYA e SOZER (2005) a equação de Arrhenius tem sido usada com bastante sucesso para prever a dependência da temperatura em alimentos líquidos ricos em açúcares e sucos de frutas clarificados. FALCONE *et al.* (2007) citam que altos valores para a energia de ativação indicam que a viscosidade é bastante dependente da temperatura.

2.2.1.8 – Estudos reológicos de extrato de soja e sucos de frutas

WANG *et al.* (1999) verificaram, estudando a viscosidade aparente e as características sensoriais dos leites de soja reconstituídos, elaborados com leite de soja em pó submetidos previamente à homogeneização em diferentes pressões (3.000, 4.000, 5.000 e 6.000 psi), que a viscosidade aparente aumentou progressivamente com o aumento da pressão de homogeneização. Portanto, os melhores níveis de viscosidade aparente que se correlacionaram com o corpo, são 21 e 26 centipoises, ou seja, o uso de 4.000 e 5.000 psi na pressão de homogeneização, respectivamente.

RODRIGUES *et al.* (2003) observaram o comportamento reológico de extratos de grãos, farinha integral e isolado protéico de soja, que o extrato elaborado com grãos de soja mostrou-se como fluido não-newtoniano, com comportamento pseudoplástico, e o extrato obtido de farinha integral de soja como fluido não-newtoniano com comportamento pseudoplástico a 4 °C e dilatante a 25 °C; já o elaborado com isolado protéico de soja apresentou-se como fluido newtoniano. A viscosidade aparente nas temperaturas de 4 e 25 °C, do extrato obtido de grãos de soja, foi maior que a farinha e maior que o isolado protéico.

CUNHA *et al.* (2008) estudaram o comportamento reológico de duas amostras de bebida láctea (amostra 1), com 70% de leite e 30% de soro de queijo e leite fermentado (amostra 2), com 100% de leite e verificaram que as duas amostras (1 e 2) se comportaram como fluidos pseudoplásticos, confirmando o comportamento não-newtoniano e apresentando tixotropia.

2.3 – MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia de Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

2.3.1 – Matéria prima

A matéria prima utilizada foi extrato de soja, polpa de umbu e as três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, em que a formulação F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2, com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu, Tabela 1.2 do Capítulo 1.

2.3.2 – Caracterização reológica do extrato de soja, polpa de umbu e das três formulações da umbuzada

Para o estudo das medidas reológicas utilizou-se o viscosímetro da marca Brookfield, modelo RV - DVII, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, Inc., E.U.A, conforme a Figura 2.4.



Figura 2.4 – Viscosímetro rotacional BROOKFIELD RV - DVII

A determinação do comportamento reológico foi realizada nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C; as leituras foram efetuadas em triplicata, nas velocidades de 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm para o extrato de soja, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 rpm para a polpa de umbu e 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 rpm para as três formulações da umbuzada com extrato de soja, com o emprego dos spindles nº 02, 03 e 06. Em cada ensaio foram utilizados cerca de 400g de amostra, a qual foi colocada em béquer de 600 mL, e depois utilizada para leitura em todas as temperaturas com controle realizado através de banho-termostatizado.

Segundo o método apresentado em MITSCHKA (1982), com as leituras dos torques medidas no viscosímetro, calcularam-se as viscosidades aparentes multiplicando-se os valores lidos por constantes discriminadas no manual do equipamento; a seguir, efetuaram-se procedimentos de transformação dessas leituras em medidas reológicas (tensão de cisalhamento e taxa de deformação).

2.3.3 – Tensão de cisalhamento

Para obtenção das tensões de cisalhamento, se multiplicaram os valores da leitura do torque (α_1), pelo fator k_{at} (Tabela), correspondente ao spindle utilizado.

Tabela 2.1 – Fatores de conversão para os spindles do viscosímetro Brookfield-RVT

Nº do spindle	1	2	3	4	5	6	7
k_{at}	0,035	0,119	0,279	0,539	1,05	2,35	8,4
$n = 0,1$	1,728	1,431	1,457	1,492	1,544	1,366	1,936
0,2	0,967	0,875	0,882	0,892	0,907	0,851	1,007
0,3	0,705	0,656	0,656	0,658	0,663	0,629	0,681
0,4	0,576	0,535	0,530	0,529	0,528	0,503	0,515
0,5	0,499	0,458	0,449	0,445	0,442	0,421	0,413
k_{ny}	0,6	0,449	0,404	0,392	0,387	0,382	0,346
0,7	0,414	0,365	0,350	0,343	0,338	0,320	0,297
0,8	0,387	0,334	0,317	0,310	0,304	0,286	0,261
0,9	0,367	0,310	0,291	0,283	0,276	0,260	0,232
1,0	0,351	0,291	0,270	0,262	0,254	0,238	0,209

Fonte: MITSCHKA (1982)

2.3.4 – Modelagem matemática

Para ajuste das curvas de taxa de deformação versus tensão de cisalhamento, serão utilizados os modelos reológicos de Ostwald-de-Waell (Lei da Potência) e Casson. A escolha desses modelos foi feita com base no fato de, comumente, serem utilizados abordando a reologia de extrato de soja, polpas, suco de frutas e suco de frutas com adição de leite (GOUVEIA, 2007).

2.3.4.1 – Modelo de Ostwald-De-Waale (Lei da Potência)

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (2.7)$$

em que:

τ – Tensão de cisalhamento, Pa

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação, s^{-1}

K – Índice de consistência, $Pa.s^n$

n – Índice de comportamento do fluxo, adimensional

2.3.4.2 – Modelo de Casson

$$\tau^{1/2} = K_{0c} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2.8)$$

em que:

τ – Tensão de cisalhamento, Pa

$\dot{\gamma}$ – Taxa de deformação, s^{-1}

$K_{0c}^{0,5}$ – Tensão de cisalhamento inicial, $Pa^{0,5}$

K_c – Viscosidade plástica de Casson, $Pa.s^{0,5}$

2.3.5 – Análise dos dados experimentais

Os modelos foram aplicados aos dados experimentais obtidos na análise reológica do extrato de soja, da polpa de umbu, por meio do programa computacional Statistica 5.0. Como critérios de avaliação do modelo que melhor representa o comportamento dos dados experimentais, foram utilizados o maior coeficiente de determinação (R^2) e o menor erro percentual médio P (%).

2.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2.2 a 2.5 tem-se os parâmetros dos modelos reológicos da Lei da Potência e Casson, ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, tal como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P), para as formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, cuja formulação F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2, com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3, com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu

Os ajustes aos dados experimentais são considerados satisfatórios, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,985 e o menor erro percentual P (%) de 1,6828 variando para o extrato de soja e polpa de umbu e, com um (R^2) de 0,999 e o menor erro percentual P (%) de 2,0909 para as três formulações da umbuzada (F1, F2 e F3), nas temperaturas de (10, 20, 30 e 40 °C) para os respectivos tratamentos.

FORTUNA (2003), utilizou, estudando o comportamento reológico do suco de morango, o modelo da Lei da Potência para representar os dados experimentais e obteve o coeficiente de determinação $R^2 > 0,964$. MUNIZ (2004) estudando o comportamento reológico da polpa de bacuri utilizou o modelo da Lei da Potência e obteve valores de (R^2) variando de 0,954 a 0,997, respectivamente. QUEIROZ *et al.* (2004) verificaram, ao utilizar o modelo da Lei da Potência para analisar o suco de cupuaçu valores do índice de comportamento do fluido abaixo de 1, caracterizando-o como fluido pseudoplástico e o índice de consistência também diminui, conforme o aumento da temperatura, para valores acima de 0,93. Esses valores são semelhantes aos encontrados para as três formulações da umbuzada.

Em geral, para as formulações F1, F2 e F3 o maior coeficiente de determinação (R^2) e os menores erros percentuais (P) foram encontrados para os modelos da Lei da Potência e Casson, que variam de 0,987 e 0,0474% e 0,999 e 1,676%. Esses valores estão próximos ao determinado por GOUVEIA (2007) ao estudar o comportamento reológico do suco de pinha, quando encontrou valores de 98,543 a 99 e obteve o valor médio de 99,245%.

Comumente, todos os modelos estudados podem ser usados para estimar os parâmetros do extrato de soja, polpa de umbu e as diferentes formulações, pois apresentaram valores de R^2 acima de 0,93 e de $P < 10\%$.

Observando os índices de consistência (K e K_c), que indica o grau de resistência do fluido diante do escoamento dos dois modelos e de todas as temperaturas estudadas, constata-se que (K) do modelo Ostwald-de-Waele encontrado para o extrato de soja, foi o menor, comparando-o com os valores dos índices de consistência das formulações F1, F2, F3 e da

polpa de umbu. Percebe-se também que todos os valores dos índices de consistência do modelo de Ostwald-de-Waele diminuíram com o aumento das temperaturas (10, 20, 30 e 40 °C), para todas as amostras, com exceção da formulação F3, a 40 °C. RIGO *et al.* (2010) também observaram, estudando a reologia da polpa de butiá nas temperaturas de 10, 20, 30, 40,50 e 60 °C, diminuição do índice de consistência com o aumento da temperatura. CABRALUM *et al.* (2006) constataram o mesmo comportamento para a polpa de goiaba.

Com relação aos valores do índice de comportamento dos fluidos (n) no modelo de Ostwald-de-Waele, para a polpa de umbu, e para as formulações F1, F2 e F3, verifica-se que apresentaram valores abaixo de 1; logo, caracterizam-se como fluido não-newtoniano, resultado semelhante ao relatado por OLIVEIRA *et al.* (2011) para polpas de gabioba e goiaba e FERREIRA *et al.* (2008) para polpa de cupuaçu; no entanto, o valor do índice de comportamento para o extrato de soja foi superior à unidade ($n > 1$) no modelo de Ostwald-de-Waele (40 °C). apresentando tendência de fluidos dilatantes.

Tabela 2.2– Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson, coeficientes de determinação e desvios percentuais médios

Temperatura = 10 °C						
	Parâmetro	Extrato de soja	Polpa de umbu	F 1	F 2	F 3
	K (Pas ⁿ)	0,2273	7,9304	0,7189	1,3247	1,9895
Lei da Potência	n	0,9248	0,3167	0,6766	0,5054	0,4593
	R ²	0,9850	0,9998	0,9992	0,9999	0,9999
	P (%)	2,0909	0,2515	0,7898	0,0474	0,0904
	K _{0C} (Pa) ^{0,5}	0,0765	7,8485	0,5228	1,4733	2,2947
Casson	K _C (Pas) ^{0,5}	0,1860	1,0522	0,3282	0,3001	0,3707
	R ²	0,9850	0,9882	0,9998	0,9989	0,9986
	P (%)	2,0841	0,8179	0,1675	0,3908	0,4132

Tabela 2.3– Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson, coeficientes de determinação e desvios percentuais médios

Temperatura = 20 °C						
	Parâmetro	Extrato de soja	Polpa de Umbu	Formulações		
				F 1	F 2	F 3
Lei da Potência	K (Pas ⁿ)	0,1961	7,5648	0,6487	1,2188	1,8265
	n	0,9649	0,3140	0,6693	0,4432	0,4333
	R ²	0,9947	0,9993	0,9981	0,9995	0,9996
	P (%)	1,1922	0,4370	0,6825	0,2091	0,2304
Casson	K _{0C} (Pa) ^{0,5}	0,0335	7,5115	0,4816	1,4078	2,1184
	K _C (Pas) ^{0,5}	0,1786	0,9864	0,2894	0,2137	0,3068
	R ²	0,9947	0,9861	0,9989	0,9973	0,9993
	P (%)	1,1913	2,0275	0,4548	0,5474	0,2664

Tabela 2.4– Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson, coeficientes de determinação e desvios percentuais médios

Temperatura = 30 °C						
	Parâmetro	Extrato de soja	Polpa de Umbu	Formulações		
				F 1	F 2	F 3
Lei da Potência	K (Pas ⁿ)	0,1889	7,0083	0,5959	1,2908	1,8136
	n	0,9869	0,3175	0,6559	0,4014	0,4333
	R ²	0,9889	0,9999	0,9941	0,9942	0,9992
	P (%)	1,8146	0,1248	0,4860	0,7416	0,2622
Casson	K _{0C} (Pa) ^{0,5}	0,0062	6,9421	0,4728	1,5037	2,1036
	K _C (Pas) ^{0,5}	0,1837	0,9307	0,2506	0,1898	0,3047
	R ²	0,9888	0,9923	0,9964	0,9875	0,9987
	P (%)	1,8053	1,4766	0,8831	1,0920	0,3537

Tabela 2.5– Resultado dos parâmetros de ajuste para os modelos da Lei da Potência e Casson, coeficientes de determinação e desvios percentuais médios

		Temperatura = 40 °C				
	Parâmetro	Extrato de soja	Polpa de umbu	Formulações		
				F 1	F 2	F 3
Lei da Potência	K (Pasⁿ)	0,1662	6,8138	0,5583	1,2806	1,8236
	n	1,0638	0,3016	0,6315	0,3982	0,4252
	R²	0,9917	0,9999	0,9879	0,9945	0,9992
	P (%)	1,7055	1,1273	1,6761	0,6358	0,2756
Casson	K_{0C} (Pa)^{0,5}	-0,0571	6,7906	0,4926	1,4974	2,1220
	K_C (Pas)^{0,5}	0,1957	0,8390	0,2104	0,1847	0,2956
	R²	0,9918	0,9917	0,9922	0,9891	0,9973
	P (%)	1,6828	1,4504	1,3474	0,9013	0,5133

Tem-se nas Figuras 2.5 a 2.9, as curvas referentes ao comportamento reológico para as amostras de extrato de soja, polpa de umbu e das formulações (F1, F2 e F3), nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C e para o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Na Figura 2.5 são exibidas as curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação do extrato de soja com ajuste pelo modelo de Casson, determinadas nas temperaturas estudadas. A curva do extrato de soja com ajustes pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência) se encontra no Apêndice B2. Verifica-se que as curvas nas temperaturas estudadas apresentaram o mesmo comportamento newtoniano porém na temperatura de 10 °C foi a que apresentou comportamento bem definido, como observado por FERREIRA *et al.* (2008), ao estudar o comportamento reológico das polpas de caju e goiaba.

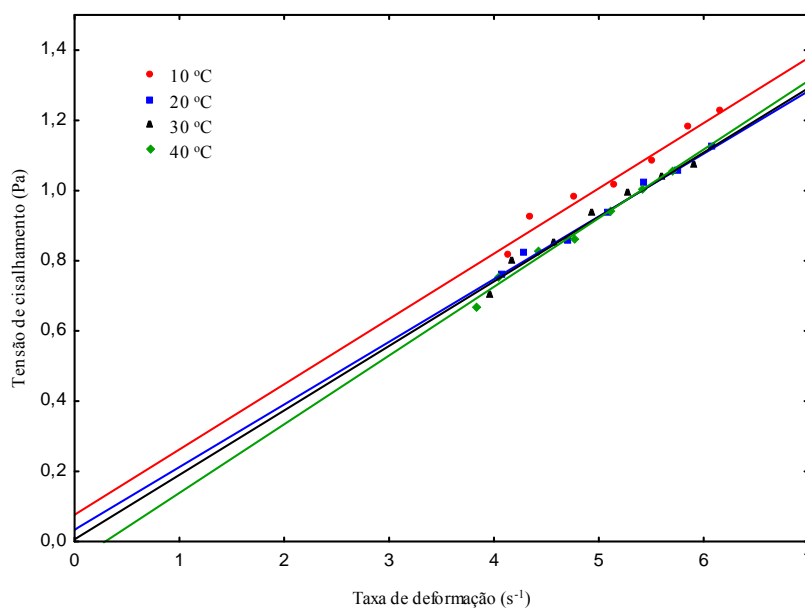


Figura 2.5 – Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação do extrato de soja com ajuste pelo modelo Casson

Na Figura 2.6 tem-se a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação em diferentes temperaturas para polpa de umbu. Observa-se que para uma taxa de deformação fixa a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura e que as curvas não apresentaram uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, caracterizando a polpa de umbu como fluido não-newtoniano. Este comportamento foi observado por MELO *et al.* (2008) ao trabalharem com polpa de buriti com leite nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C; o mesmo observado também por BEZERRA *et al.* (2008) ao trabalharem com polpa de morango nas temperaturas 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C.

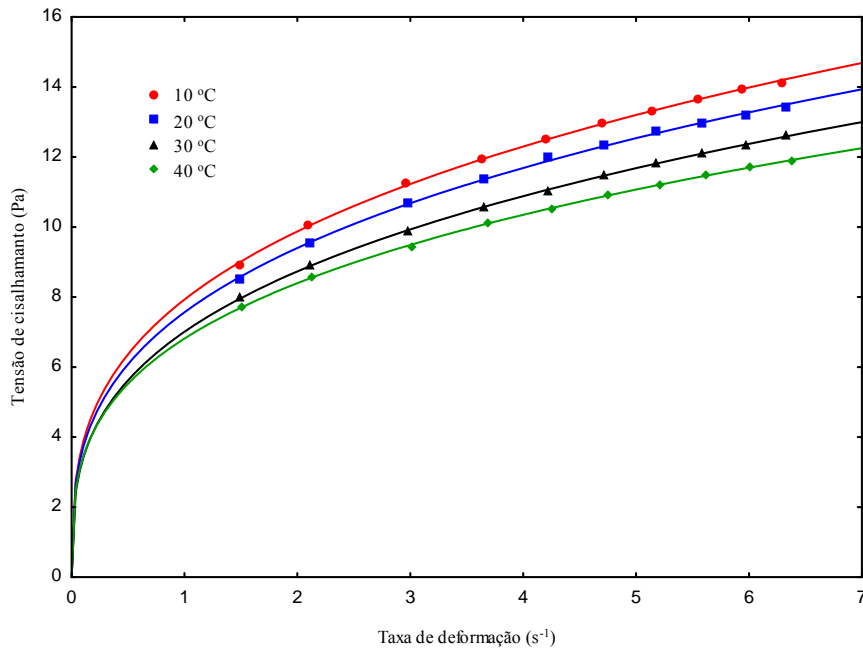


Figura 2.6 – Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de umbu com ajuste pelo modelo Ostwald-de-Waele (LP)

Na Figura 2.7, referente à formulação 1, observa-se que nas temperaturas 10, 20, 30 e 40 °C as curvas se apresentaram distintas em relação à temperatura, ocorrendo diminuição na viscosidade com o aumento da temperatura, caracterizando comportamento pseudoplástico, fato observado por GRANGEIRO *et al* (2007) ao trabalharem com polpa de figo-da-índia nas temperaturas 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

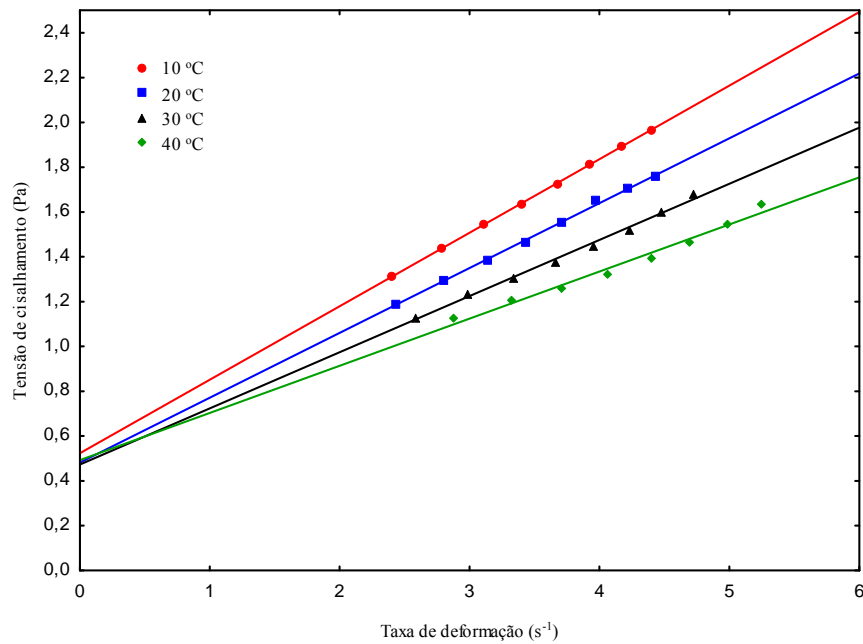


Figura 2.7 – Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação da F1 com ajuste pelo modelo Casson

Na Figura 2.8 observa-se, a partir de uma taxa de deformação definida, que a maior tensão de cisalhamento é a temperatura de 10 °C seguida das temperaturas de 20, 30 e 40 °C. BEZERRA *et al.* (2001) estudaram a amostra de polpa de manga na faixa de temperatura de 10 a 60 °C, verificando o mesmo comportamento. Tem-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, caracterizando a Formulação F2 como um fluido não-newtoniano. FERNANDES *et al.* (2008) obtiveram o mesmo resultado ao estudar o comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

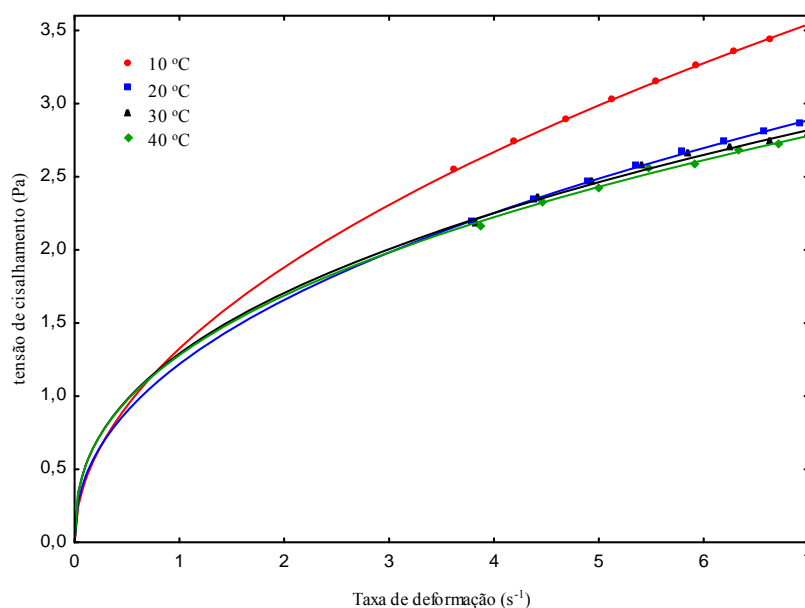


Figura 2.8 – Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação da F2, com ajuste pelo modelo Ostwald-de-Waelle (LP)

Na Figura 2.9 apresenta-se a taxa de deformação em função da tensão de cisalhamento da formulação F3, ajustado pelo modelo Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) nas diferentes temperaturas. Observa-se que as curvas deste modelo se comportaram de forma semelhante às curvas da formulação F2, a viscosidade de 10 20, 30 e 40 °C apresentou comportamento pseudoplástico, a temperatura de 10 °C obteve maior viscosidade e as curvas das demais temperaturas se apresentaram sobrepostas. Verifica-se que as curvas não apresentaram relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, caracterizando a formulação F3 como fluido não-newtoniano, comportamento este típico de polpa de frutas, como observado por GASPARETTO e GUIMARÃES (2000).

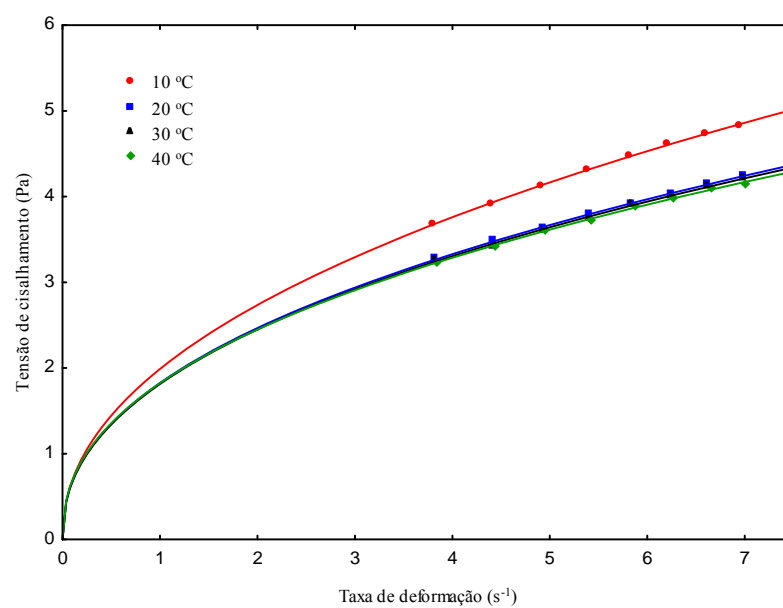


Figura 2.9 – Relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação da F3 com ajuste pelo modelo Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)

2.5 - CONCLUSÕES

- Os modelos reológicos da Lei da Potência e Casson podem ser utilizados para descrever o comportamento do extrato de soja, polpa de umbu e das três formulações da umbuzada; ambos apresentaram, para todas as temperaturas, valores do coeficiente de determinação (R^2) superiores 0,98 e os erros percentuais (P) inferiores a 3%.
- O comportamento reológico do extrato de soja e da Formulação 1, foi melhor representado pelo modelo de Casson pois apresentou o maior coeficiente de correlação e o menor erro relativo médio $R^2 > 0,985$; $P < 0,1675$, enquanto a polpa de umbu e as Formulações 2 e 3 foram, pela Lei da Potência ($R^2 > 0,9861$; $P < ,2622$).
- Todas as amostras estudadas apresentaram comportamento de fluido não-newtoniano, com características pseudoplásticas.

2.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARÉVALO, R. P.; QUAST, L. B.; KIECKBUSCH, T. G. Viscosidad aparente de lapulpa de camu-camu (*Myrciariadubia*) in natura y com pré-tratamiento térmico. XXII IACCHE – **Interamerican Confederation of Chemical Engineering**. 2006.

BEHRENS, J. H.; DA SILVA, M. A. A. P. Atitude do consumidor em relação à soja e produtos derivados. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas ,v.24, n.3, p.431-439, 2004.

BENEDETTI, A. C. E. P.; FALCÃO, D. P. Monitoramento da qualidade higiênico-sanitário processo do “leite” de soja na UNISOJA, Araraquara, SP. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.23, p. 200-205, 2003.

BEZERRA, M. F. **Caracterização físico-química, reológica e sensorial de iogurte obtido pela mistura dos leites bubalino e caprino**. 2010, 100f. Dissertação (Mestrados em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BEZERRA, J. R. M. V.; RIGO, M.; JUNIOR, B. D.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Revista de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava - PR, v.5, n.1, p.37-47, 2008.

BEZERRA, J. R. M. V.; QUEIROZ, A. J. de M.; GASPARETTO, C. A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n.1, p.37-42, 2001.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2^a, ed. Varela. São Paulo, p.25-37, 1995.

BRANCO, I. G. **Estudo do comportamento reológico de misturas ternárias com manga,laranja e cenoura**. 2001, 163f .Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) UNICAMP, Campinas.

BUFFO, R. A.; REINECCIUS, G. A. Modeling the rheology of concentrated beverage emulsions. **Journalof Food Engineering**, v.51, p.267-272, 2002.

CABRALUM, R. A. F.; ROMERO-UM, J. T.; TELISUM, V. R. N.; GABASB, A. L.FINZERC, J. R. D. Efeito da viscosidade aparente em leite fluidizado secagem parâmetros do processo de goiaba celulose. **Jornal de Engenharia de Alimentos**, v.80, n.4, p.1096-1106, 2006

CABRAL, M. F. P. **Comportamento reológico da polpa de cupuaçu**. 2001. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande – PB.

CASSON, N. (1959) A flow equation for pigmentodoil suspension of printing ink., In: **Reology of Disperse Systems**, ed. C.C. Mill. Pergamon Press, New Yopk,...

CHOI, Y. H.; YOO, B. Characterization of time-dependent flow properties of food suspensions.**International Journal of Food Science and Technology**, v.39, p.801-805, 2004.

COSTA, L. T. **Características físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).Universidade Federal de Campina Grande – PB

CUNHA, T. M.; CASTRO, F. P.; BARRETO, P. L. M.; BENEDET. H. D.; PRUDÊNCIO, E. S. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea eleite fermentado adicionados de probióticos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.1, p.103-116, 2008.

DA LUZ, L. M.; SPRANGOSKI, A. L.; BORTOLOZO, E. A. F. Q. **Processo de produção de “iogurte de soja” na unidade de produção de alimentos UTFPR**. Ponta Grossa Paraná. ISBN: v.1 p.41-46, 2007.

FALCONE, P.M.; CHILLO, S. GIUDICI P. DEL NOBILE, M.A. Measuring rheological properties for applications in quality assessment of traditional balsamic vinegar: description and preliminary evaluation of a model. **Journalof Food Engineering**, v.80, p.234-240, 2007.

FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. de M.; MELO, K. dos S.; BEZERRA, M. da C. T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbu-cajá em

função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.2, p.171-180, 2008.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. de O. C.; MAIA, M. C. A. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.30, n.2, p.385-389, 2008.

FORTUNA, L. J. T. Viscosity of concentrated strawberry juice: effect of temperature and soluble solids content. **Food Science and Technology**, Cracow, v.6, n.2, p.1-7, 2003.

GASPARETTO, C. A.; GUIMARÃES, D. H. P. Rheological Behavior of Pineapple and Mango Pulp: effect of the measuring systems. **Revista de Ciência e Tecnologia**. v.8, n.16, p.91-96, 2000.

GONÇALVES, J. R. Introdução à reologia de alimentos fluidos. (ed) 1. **Reologia e textura em alimentos**. Campinas: ITAL, cap. 2, p.6-11, 1989.

GOUVEIA, D. S. **Suco de pinha com adição de leite: reologia e teste de aceitação**. 2007, 76f. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – PB.

GRANGEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MATA, M. E. R. M. C. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.2, p.219-224, 2007.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento pécico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) e amora-preta (*Rubus* spp)** CURITIBA 2005, 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. 2007, 133f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná.

KAYA A. e SÖZER N. Rheological behaviour of sour pomegranate juice concentrates (*Punicagranatum*L.). **International Journal of Food Scienceand Technology**, v.40, p.223-227, 2005.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. **International Journal of Food Properties**, v.4, n.2, p.179-200, 2001.

McCLEMENTS, J. **Food Biopolymers and colloids research laboratory**. Universityof Massachusetts Amherst. 2005.

MELO, K. dos S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. de M. Comportamento reológico da polpa de buriti com leite. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, n.2, 2º Semestre, 2008.

MOTTA, A. K. F. **Maisena com água: fluído não-newtoniano**. UNICAMP, 2007.

MITSCHKA, R. M. Simple conversion of Brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheol. Acta**, Prague, v.21, p.207-209, 1982.

MIZRAHI S. e BERK, Z. Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture**. v.3, n.1, p.69-79, 1972

MUNIZ, M. B. **Características químicas, reológicas e termofísicas de polpas de bacuri**. 2004. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, PB.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros**. Caxias do Sul: EDUCS, 1997. 265p.

OLIVEIRA, R. C. de.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta ScientiarumTechnology**. Maringá, v.33, n.1, p.31-37, 2011

- PELEGRINE, D. H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi**. 1999. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). UNICAMP.Campinas, SP.
- POSSA, M. V.; de LIMA, J. R. B. **Comportamento reológico de polpas de minério**, Rio de Janeiro.37 p. 2000.
- QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; CABRAL, M. F. Reologia de suco de cupuaçu. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. CD.
- RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriospatha*).**Revista de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava – PR,v.6,n.1,p.25-36 ,.2010.
- RODRIGUES, R. S.; GOZZO, A. M.; MORETTI, R. H. Comportamento reológico de extratos de grãos, farinha integral e isolado protéico de soja. **Boletim Centro de Pesquisa do Paraná**, Curitiba, v.21, n.2, p.367-378, 2003.
- SCHRAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**. 2ª ed. Artliber Editora. São Paulo, 2006. 234p.
- SHARMA, S. K., MULVANEY, S.J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience, 2000, 348p.
- SILVA, N. M. C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.)** 2008, 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB – Itapetinga-Ba:
- TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.147-156, 2005.
- VANDRESEN, S. **Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas**. 2007. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) –Florianópolis – SC.

VIDAL, J. R. M. B. **Comportamento reológico da polpa de manga** (*Mangífera indica L. Keitt*). 2000. 159f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). UNICAMP. Campinas, SP.

WANG, SIN-HUEI.; CABRAL, L. C.; ARAÚJO, F. B.; MAIA, L. H. Características sensoriais de leites de soja reconstituídos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.3. Brasília 1999.

YANES, M.; DURÁN, L.; COSTELL, E. Effect of hydrocolloid type and concentration on flow behaviour and sensory properties of milk beverages model systems. **Food Hydrocolloids**, v.16, p.605-611, 2002.

Capítulo 3

**Congelamento e armazenagem frigorificada
da umbuzada: avaliações físico-químicas,
microbiológica e sensorial**

3.1 – INTRODUÇÃO

A região Nordeste se destaca pela diversidade de espécies frutíferas de grande valor comercial, dentre estas o umbuzeiro, árvore nativa do semiárido, cuja espécie oferece frutos abundantes e nutritivos que desde há muito tempo, são considerados fonte alimentícia para o sertanejo da região (MEDEIROS, 2004).

O umbu chega a representar uma fonte de renda importante no período da entressafra, contribuindo com a metade da renda média anual dos agricultores nas áreas de coleta. Por essas e outras razões é que o umbuzeiro deveria ser reconhecido como o verdadeiro representante da caatinga nordestina, como já sugeriu Euclides da Cunha no seu livro “Os Sertões”, como a planta sagrada do sertão; todavia, os frutos são comercializados para consumo “in natura” ou para o fornecimento de matéria-prima para outros 48 produtos, que vão desde sucos a sorvetes e geléias. Uma das formas mais habituais e preferidas para o consumo dessa fruta é a umbuzada consumida, inclusive, como sobremesa. A umbuzada é obtida por meio da polpa cozida de umbu verde ou “de vez”, triturada em liquidificador com leite e açúcar. Algumas pessoas substituem o açúcar por leite condensado (PÊ *et al.*, 2004).

A umbuzada é um preparo elaborado com polpa de umbu cozido e a ela se adiciona leite de vaca ou de cabra, açúcar ou rapadura e/ou leite condensado. É um produto de ótima aceitação no mercado, saboroso e de alto valor nutritivo; entretanto, é preparado apenas no período de safra do fruto, pois para sua elaboração é necessário fruto verde.

Visando buscar uma alternativa para substituir o leite de vaca ou leite de cabra para a elaboração da umbuzada a fim de atender às pessoas intolerantes à lactose, surge o extrato de soja como provável substituto, devido ao alto valor nutritivo, baixo custo e similar aos leites citados.

O umbu abundante no período de safra é uma fruta de rápida sazonalidade e perecibilidade, motivo pelo qual parte da produção é perdida. Para minimizar este problema recorre-se ao congelamento da fruta “in natura” ou processada. A opção do processamento do umbu para obtenção de polpas congeladas é uma atividade agroindustrial, importante na medida em que se agrega valor econômico à fruta.

Segundo BRUNINI *et al.*, (2003) a conservação de frutas na forma de suco de polpa congelada e de outros produtos, foi desenvolvida para aumentar sua oferta e para a utilização dos excedentes de produção, cuja utilização é quase sempre como matéria-prima para processamento de outros produtos, como néctares, geléias, sorvetes e doces.

As polpas de fruta congeladas têm ampla aceitação no mercado pela manutenção das características organolépticas dos frutos e são também empregadas como matéria-prima na industrialização de outros produtos (CHITARRA e CHITARRA, 2005). No período de safra, devido à alta perecibilidade dos frutos, as perdas alcançam até 25%, o que tem favorecido o desenvolvimento de processos tecnológicos para aumentar sua vida útil. Este setor da agroindústria se encontra disseminado em todos os estados brasileiros e deve continuar conquistando mercado, desde que sejam preservados a qualidade e o valor nutricional dos frutos, uma vez que, devido à grande instabilidade de vitaminas, o processamento e o armazenamento podem causar alterações significativas (SEBASTIANY *et al.*, 2009).

O congelamento é um dos métodos mais eficientes para a manutenção da qualidade de produtos elaborados com polpa de frutas, diminuindo os efeitos de deterioração quando expostos a temperatura acima do ponto de congelamento. O congelamento, embora eficiente, produz efeitos prejudiciais, comprometendo a qualidade dos produtos que depende da velocidade do meio de resfriamento e das condições de armazenamento posterior (FERNÁNDEZ *et al.*, 2007).

O congelamento da umbuzada elaborada com extrato de soja e rapadura visa basicamente aumentar a vida útil de seu consumo, preservando suas qualidades nutricionais e sensoriais.

Portanto, os objetivos deste capítulo são:

- a) Estudar a cinética de congelamento das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada com extrato de soja e rapadura (Formulação F1: composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2: 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e F3: 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu) submetida a três temperaturas de congelamento (-20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50 °C).
- b) Avaliar, durante 120 dias, as características físico-químicas (proteína bruta, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico) e sensoriais (cor, aroma e sabor) das três formulações da umbuzada submetida a três temperaturas de congelamento a -20°C (freezer), a -170 °C (no vapor de nitrogênio líquido) até -50°C e a -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50°C e em seguida armazenadas nas temperaturas finais de cada procedimento de congelamento.
- c) Realizar a análise microbiológica inicial e durante o período de 120 dias, nas três formulações da umbuzada e armazenadas conforme o item b.

3.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1 – Aspectos tecnológicos do umbu

O extrativismo do umbu tem apresentado resultados significativos em três estados do Nordeste. A quantidade produzida na extração do umbu, entre 2000 e 2006, praticamente não se alterou no período, variando de um mínimo de 8.891 toneladas em 2006 e um máximo de 10.090 toneladas, em 2000. Deste total, cerca de 85% são provenientes do Estado da Bahia, seguido dos Estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte (LEDERMAN *et al.*, 2008).

Com base nas características deste fruto constata-se que essa planta tem grande potencial para ser explorada industrialmente em pequena e grande escala, sob a forma de diferentes produtos alimentícios. Tal potencial ainda não é explorado, os poucos produtos comercializados são de baixa qualidade, o fruto não é aproveitado integralmente e os agricultores não têm acesso às modernas tecnologias (PINTO *et al.*, 2001).

De acordo com MARTINS *et al.*, (2007) na época da safra, que vai de dezembro a março, há fartura de frutos e, durante a colheita, ocorre perda considerável de umbu maduro, por ser bastante perecível; como consequência surgiu a necessidade do desenvolvimento de tecnologia apropriada para doces de polpa de umbu verde, visando ao aproveitamento de toda a produção e diminuição de perdas para o produtor, além da agregação de valor aos produtos derivados. A agregação de valor aos produtos contribui para o fortalecimento da agricultura familiar e do desenvolvimento regional.

3.2.2 – Extrato de soja

Segundo SILVA *et al.* (2007) o extrato de soja, líquido ou em pó, possui ampla aplicação na indústria alimentícia, pode ser consumido na forma de bebida ou como constituinte de produtos lácteos, tais como iogurtes, formulados infantis, sorvetes e cremes e apresenta baixo custo e alta qualidade protéica e energética. De acordo com TORRES-PENARANDA e REITMEIER (2001) para a maioria da população ocidental o extrato de soja apresenta sabor desagradável; todavia, seu consumo é direcionado, como alternativa ao leite de vaca, para as pessoas com intolerância à lactose, auxilia na prevenção de riscos de doenças crônico-degenerativas em razão da presença das isoflavonas.

3.2.3 – Rapadura

Segundo LIMA e CAVALCANTI (2001) a produção de rapadura é uma atividade das mais tradicionais do Nordeste e apresenta inúmeros pólos de produção, espalhados pelos vários Estados da região, embora de forma precária e enfrentando dificuldades as mais diversas, mesmo assim, a produção de rapadura tem sobrevivido e apresenta características típicas de atividade de base local com potencialidades de vir a experimentar, sob determinadas condições e devidamente incentivada, um processo de expansão e de mudanças que lhe abram as portas para novos mercados, inclusive o mercado externo, caso as transformações sejam mais significativas.

A rapadura é um produto sólido, de sabor doce, obtido pela concentração, a quente, do caldo da cana-de-açúcar, sendo seu ponto final conseguido por desidratação do caldo em torno de 92° Brix. Ela tem sabor e odor agradáveis e característicos, muito rica em vitaminas e sais minerais, como: potássio, cálcio e ferro, além de ter características de produto natural e orgânico. Tradicionalmente consumida pela população do Nordeste brasileiro, em especial no sertão, a rapadura substitui outros produtos graças ao valor comercial e nutritivo (OLIVEIRA *et al.*, 2001)

3.2.4 – Métodos de conservação por congelamento

Conforme HUAN *et al.*, (2003) o processo de congelamento está presente em várias áreas de engenharia, principalmente na tecnologia de produtos alimentícios. O congelamento pode ser considerado o método mais satisfatório disponível para conservação por longo período e, se conduzido adequadamente, retém o *flavor*, a cor e o valor nutritivo do alimento (BEVILACQUA *et al.*; 2004). A diminuição da temperatura ocorrida durante o congelamento diminui as atividades dos micro-organismos e sistemas enzimáticos, além das reações químicas prevendo a deterioração do produto (LOPES *et al.*, 2005).

A preservação de alimentos por congelamento tem sido usada por milhares de anos, devido à alta qualidade do produto (LI e SUN, 2002). De modo geral, a qualidade de alimentos congelados está estreitamente relacionada com processos de congelamento e descongelamento. A taxa de congelamento e a formação de pequenos cristais de gelo no

congelamento são fundamentais para minimizar os danos nos tecidos e perda por gotejamento no descongelamento.

Durante o congelamento o calor sensível é removido para diminuir a temperatura de um alimento, até o ponto de congelamento. Em alimentos frescos o calor produzido pela respiração também é removido e chamado carga calorífica. A maioria dos alimentos contém grande proporção de água, que tem alto calor específico ($4.200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e um alto calor latente de cristalização (335 kJ kg^{-1}). Uma quantidade substancial de energia é, portanto necessária para remover o calor latente, formar os cristais de gelo e congelar os alimentos (FELLOWS, 2006).

Quando a água se transforma em gelo ocorre uma expansão do volume, algo inferior a 9% associado à transformação da água líquida em gelo (DAMODARAN *et al.*, 2010). Os alimentos com alto teor de água se expandem ao se congelar, proporcionalmente, mas que os alimentos com teor de água menor (COX, 1987). Alimentos que necessitam de baixas temperaturas como meio de preservar a qualidade, geralmente contêm grande quantidade de água, que varia de 60 a 95%.

De acordo com NASCIMENTO (2009) o congelamento é classificado em lento, rápido e ultrarápido (ultracongelamento) como demonstra a Figura 3.1, porém ambas as classificações estão de acordo com a velocidade de congelamento que depende do quociente entre a temperatura do produto e o meio de congelamento, o qual é influenciado por vários fatores, alguns dos quais são: velocidade do ar, presença de matérias de embalagem, tamanho, geometria e propriedades térmicas do alimento (CHEVALIER *et al.*, 2000).

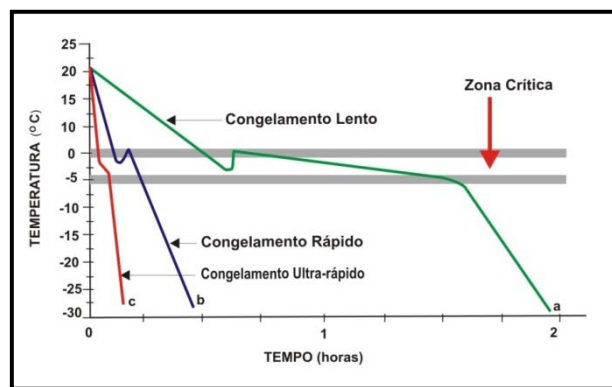


Figura 3.1 – Evolução da temperatura durante o congelamento de um produto biológico com resfriamento lento (a), rápido (b) e ultrarápido (c). Fonte: Fenemma (1996)

3.2.4.1 – Congelamento lento

De acordo com CHEVALIER *et al* (2000) taxa de congelamento é um parâmetro importante do processo de congelamento. O congelamento lento forma grandes cristais de gelo, causando danos irreversíveis aos tecidos e altas taxas de congelamento produzem pequenos cristais de gelo, resultando em uma qualidade muito preservada na estrutura dos alimentos.

No congelamento lento a temperatura diminui gradativamente até atingir a temperatura de equilíbrio com a câmara de congelamento, realizada por sistemas mecânicos que utilizam substâncias refrigerantes. Apresenta ainda como características, cristais de gelo com formas hexagonais, Figura 3.2a, são cristais de maior tamanho quando comparados aos cristais no congelamento rápido Figura 3.2b e ultrarápido Figura 3.2c (PARDI *et al.*, 2006). Um dos métodos mais populares de congelamento lento é a utilização de freezer comercial, a temperaturas que variam entre -18 e -25 °C (SILVA, 1998).

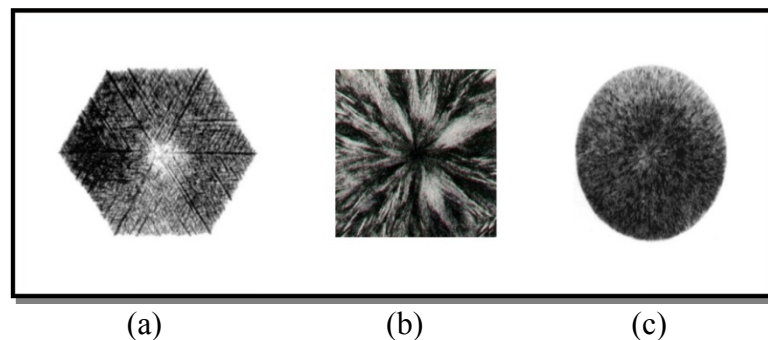


Figura 3.2 – Unidades principais de cristalização. (a) cristais regulares Hexágonos, (b) diedros irregulares, (c) unidades esféricas. Fonte: Colla e Hernández (2003)

Uma vez que as mudanças de estado líquido-sólido são as responsáveis pela maior parte das causas de letalidade de micro-organismos e da perda de qualidade de tecidos vivos sob congelamento, a compreensão da cristalização é essencial para a melhor utilização dos métodos de conservação por congelamento (COLLA e HERNÁNDEZ, 2003).

Durante o congelamento lento cristais de gelo crescem nos espaços intercelulares, deformando e rompendo a parede celular das células adjacentes. Os cristais de gelo têm uma pressão de vapor de água menor do que as regiões internas da célula e, portanto, a água se movimenta de dentro da célula para os cristais em formação. Desta forma, as células desidratam e sofrem dano permanente devido ao aumento da concentração de solutos e à deformação e colapso da estrutura celular. Durante o descongelamento as células não recuperam sua forma de turgidez original. O alimento amolece e o material celular das células rompidas é perdido “chamado perda por gotejamento” (FELLOWS, 2006).

De acordo com CHEVALIER *et al* (2000) taxa de congelamento é um parâmetro importante do processo de congelamento. O congelamento lento forma grandes cristais de gelo, causando danos irreversíveis aos tecidos e altas taxas de congelamento produzem pequenos cristais de gelo, resultando em uma qualidade muito preservada na estrutura dos alimentos.

A taxa de crescimento do cristal é controlada pela taxa de transferência de calor durante a maior parte do platô de congelamento. O tempo requerido para que a temperatura do alimento passe pela zona crítica determina tanto o número quanto o tamanho dos cristais de gelo. A taxa de transferência de massa das moléculas de água movimentando-se para o cristal em crescimento e das moléculas de soluto afastando-se do cristal, não controla a taxa de crescimento do cristal, com exceção do final do período de congelamento, quando os solutos se tornam mais concentrados (ORDÓÑEZ, 2005).

Conforme OETTERER *et al.* (2006) o congelamento rápido corresponde à operação que congela um produto à razão de 1 a 3 cm³.h⁻¹. O processo de congelamento se dá, neste caso, na faixa de temperatura de -0,5 a -5 °C, considerada faixa crítica, pois é nela que se cristaliza a maioria da água livre presente nos alimentos.

3.2.4.2 – Congelamento rápido

A velocidade de congelamento de uma solução não exerce influência unicamente sobre a quantidade, mas também sobre a forma dos cristais. Os cristais regulares hexagonais se formam durante o congelamento lento, cristais irregulares se originam do congelamento médio e cristais esféricos se produzem em congelamento rápido e ultrarrápido. Para FELLOWS (2006), o ponto de congelamento de um alimento pode ser descrito como a temperatura na qual um cristal de gelo minúsculo existe em equilíbrio com a água ao seu redor; contudo, antes que um cristal de gelo possa formar-se, um núcleo de moléculas de água deve estar presente e, portanto, a nucleação precede a formação de cristais. Existem dois tipos de nucleação: a nucleação homogênea, na qual a orientação e a combinação de moléculas de água são casuais, e a nucleação heterogênea, formação de um núcleo ao redor de partículas suspensas ou em uma parede celular. A nucleação heterogênea é mais provável de ocorrer em alimentos e se dá durante o super-resfriamento; a duração do período de super-resfriamento depende do tipo de alimento e da taxa na qual o calor é removido.

A taxa de crescimento do cristal é controlada pela taxa de transferência de calor durante a maior parte do platô de congelamento. O tempo requerido para que a temperatura do alimento passe pela zona crítica determina tanto o número quanto o tamanho dos cristais de gelo. A taxa de transferência de massa das moléculas de água movimentando-se para o cristal em crescimento e das moléculas de soluto afastando-se do cristal, não controla a taxa de crescimento do cristal, com exceção do final do período de congelamento, quando os solutos se tornam mais concentrados (ORDÓÑEZ, 2005).

Conforme OETTERER *et al.* (2006) o congelamento rápido corresponde à operação que congela um produto à razão de 1 a 3 cm³.h⁻¹. O processo de congelamento se dá, neste caso, na faixa de temperatura de -0,5 a -5 °C, considerada faixa crítica, pois é nela que se cristaliza a maioria da água livre presente nos alimentos.

3.2.4.3 – Congelamento ultrarápido

A criogenia, de acordo com AQUINO *et al* (2011), pode ser definida como a ciência dedicada à produção de baixas temperaturas, sendo o adjetivo criogênico utilizado para denominar gases como nitrogênio que em estado líquido apresentam temperaturas muito baixas (-196 °C). Conforme relatado por DELGADO e RUBIOLLO (2005), o congelamento ultrarápido é vantajoso visto que contribui para manter a estrutura celular das polpas congeladas devido à formação de pequenos cristais de gelo.

O congelamento rápido de produtos alimentícios ou ultracongelamento é realizado em alguns minutos. Quando o ultracongelamento é feito com aplicação de gases criogênicos, como é o caso do nitrogênio líquido, o processo se realiza de 1 a 15 minutos, em função das temperaturas muito baixas (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Um congelamento criogênico normalmente se refere a um fluido cujo ponto de ebulição está bastante abaixo do ponto de congelamento normal do alimento. Quando o produto é imerso no fluido ocorre uma evaporação do congelante sobre a superfície do alimento (MONTEIRO FILHO, 2000). O nitrogênio líquido tem um ponto de ebulição de -195,8°C, e calor latente de evaporação de 200 kJ/kg; quando um alimento é submerso neste líquido, se transfere rapidamente calor desde a superfície do alimento para o nitrogênio e este se evapora na superfície do produto. De acordo com a terminologia internacional oficial, técnicas

criogênicas são aqueles em que temperaturas inferiores a $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$ são aplicadas (KONDRATOWICZ e MATUSEVICIUS, 2002).

O congelamento ultrarrápido através da criogenia traz grandes benefícios ao produto congelado, devido à formação de pequenos cristais de gelo de forma esférica entre as estruturas das células, nos espaços intercelulares e intracelulares, sendo que o tamanho dos cristais é tão pequeno que não ocorrem danos às células, mantendo alta qualidade após o descongelamento (BEVILACQUA *et al.*, 2004).

O congelamento ultrarrápido é um método eficaz para conservar os alimentos no estado mais próximo do “in natura”. As frutas quando processadas e envasadas cuidadosamente, retêm o máximo de sabor e aroma, além de elevada porcentagem de seu valor nutritivo original (FERREIRA, 2000). O congelamento ultrarrápido com nitrogênio líquido apresenta, como vantagens, menor desidratação do alimento durante o processo de congelamento, menor perda de peso do produto ao proceder ao descongelamento, melhores características organolépticas cor, aroma, sabor e melhor qualidade microbiológica (detenção do desenvolvimento microbiano e enzimático) e detenção dos processos de oxidação e ranço provocado por oxigênio, além de desenvolvimento bacteriano.

Conforme MÉNDEZ-LAGUNAS *et al* (2008) neste congelamento as substâncias mais usadas são líquidos criogênicos ou gases liquefeitos, compostos que possuem ponto de ebulição muito baixo e calor latente de vaporização bastante elevado; os mais comuns são o nitrogênio líquido (N_2) e dióxido de carbono (CO_2), líquido ou sólido (neve carbônica), cujas propriedades mais relevantes são indicadas na Tabela 3.1. Ao colocar o líquido criogênico, a pressão atmosférica em contato com alimento, se transforma em gás, absorvendo o calor latente de vaporização do alimento após a mudança de estado o gás conserva grande capacidade de resfriamento, haja vista que pode captar calor sensível ao aquecer até $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabela 3.1 – Propriedades dos líquidos criogênicos utilizados na indústria de alimentos

Propriedades	Nitrogênio	CO_2
Ponto de ebulição normal ($^{\circ}\text{C}$)	-195,8	-78,5
Capacidade refrigerante total (KJkg^{-1})	-195,8	-78,5
Densidade do líquido em ponto de ebulição normal (kg/m^3)	809,7	1,562
Calor específico do gás a 21°C (kJ/kg K)	1,024	0,832
Calor latente de vaporização (kJ/kg)	199,8	347,97
Consumo (kg) por kg de produto congelado	1,3	1,2 a 3,75

Fonte: ORDÓÑEZ PEREDA (2005)

3.2.4.4 – Armazenagem a frio

O armazenamento congelado, se situa, na maioria dos alimentos, entre -15°C a -18°C , acima do ponto eutético, enquanto a -40°C está abaixo da temperatura eutética e de transição vítrea do alimentos. A essas temperaturas baixas os micro-organismos deixam de ter importância porém as mudanças físicas e químicas podem alterar a cor, o aroma e a textura dos alimentos. O maior problema está ligado às oscilações de temperatura que levam a recristalização, mudando o tipo e o tamanho dos cristais prejudicando, em consequência, a qualidade do produto (GONÇALVES, 2005). Segundo MATUDA (2004) os produtos alimentícios possuem uma temperatura própria de armazenamento, porém comercialmente se costuma armazená-los a -20°C .

Segundo BUGGENHOUT *et al* (2002) mudanças físicas durante o armazenamento a temperaturas abaixo de zero, como recristalização de gelo, podem resultar na deterioração da textura nos alimentos e reverter a vantagem do congelamento rápido. Embora a quantidade de gelo permaneça relativamente constante, ao longo do tempo, este fenômeno pode ser extremamente prejudicial para a textura de produtos congelados

O armazenamento de alimentos em temperatura adequada é imprescindível para mantê-los por períodos prolongados (MÜRMANN *et al.*, 2005). Quanto menor a temperatura de armazenamento mais lentas serão as reações químicas, as atividades enzimáticas, a multiplicação dos micro-organismos e maior será o tempo em que os alimentos poderão ser armazenados.

3.2.4.5 – Cinética de congelamento

Conforme CIABOTTI (2000) as curvas de congelamento podem explicar os fenômenos que ocorrem durante a redução da temperatura de um alimento. No caso da água pura, como observado na Figura 3.3, ocorre redução gradual da temperatura da mesma até 0°C , que corresponde à retirada do calor sensível da água; segue-se com um período de estabilização da temperatura que corresponde ao período de cristalização e, finalmente, nova redução da temperatura. Observa-se também, na mesma figura, a existência de um ponto S, denominado superfusão, que corresponde a uma redução de temperatura abaixo de 0°C , porém ainda se mantendo no estado líquido.

Segundo ARAÚJO (2000), uma forma prática de conhecer a evolução de um processo de congelamento é através da variação de temperatura do alimento em função do tempo

durante o processo; este conhecimento do comportamento do congelamento gera uma dependência que representa, graficamente (Figura 3.3) e se denomina curva de congelamento. Segundo CAVALCANTI MATA (2008) esta é uma ferramenta importante para determinar os tempos de congelamento dos alimentos, em conjunto com a velocidade de congelamento, podendo-se dimensionar novos equipamentos, para tais fins.

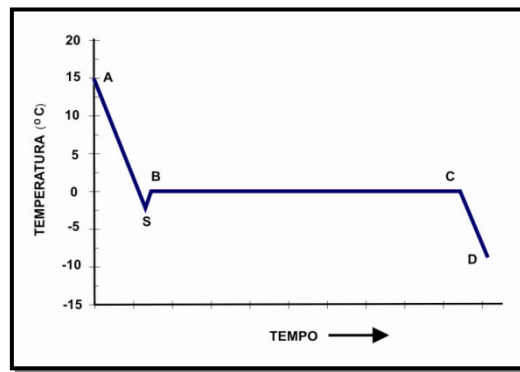


Figura 3.3 – Curvas de congelamento da água pura

Segundo CASTRO (2004), ressalta que durante o processo de congelamento diferentes regiões do produto passarão por vários estágios em diferentes tempos considerando-se uma região ou um ponto do produto, os três estágios de alterações ou de temperaturas, observados na Figura 3.3. Com o resfriamento de **A** a **B** o período decorrido entre o início do processo onde as moléculas de água tendem a se agregar diminuindo suas atividades, até formar os primeiros cristais de gelo no ponto **S**; a água permanece líquida, abaixo de 0 °C e do ponto de congelamento, fenômeno este, chamado de super-resfriamento. Com o início da cristalização há liberação de calor que aumenta a temperatura do ponto **S** ao ponto **B** e **S** a **B**, respectivamente; no período de **B** a **C** na Figura 3.3, que representa a curva de congelamento da água pura, o gelo começa a se formar com a passagem de um arranjo aleatório na fase líquida para o ordenado na fase sólida, processo que consiste de uma nucleação e crescimento de cristais (cristalização), período no qual a temperatura sofre pequena variação e maior parte da água líquida se transforma em gelo; a fase de **C** a **D** é o período de redução da temperatura que corresponde, na maioria dos alimentos, a um congelamento de aproximadamente 73% da quantidade total de água.

ARAÚJO (2000), afirma que a difusividade térmica é necessária na determinação das curvas de temperatura de alimentos durante processos de transferência de calor para a delimitação dos próprios procedimentos usados nessas operações. Segundo CIABOTTI (2000) o conhecimento das propriedades termofísicas e do tempo de congelamento, é de

grande aplicabilidade para o projeto e dimensionamento dos equipamentos de congelamento e para a otimização dos processos térmicos aos quais são submetidos os produtos alimentícios.

3.2.5 – Análises microbiológicas

Segundo JAY (2005) durante a tentativa de isolamento do agente etiológico da cólera Escherich, 1885, isolou e estudou um micro-organismo que agora é chamado E. Coli. Inicialmente, este micro-organismo foi denominado Bacterium Coli Commune, devido à sua presença nas diarreias de todos os pacientes examinados. Foi o primeiro a sugerir o uso desse micro-organismo como indicador de poluição fecal, uma vez que ele pôde ser isolado e identificado mais facilmente do que outros patógenos presentes na água. O teste para mensurar a potabilidade da água foi sugerido por SMITH, no ano de 1895, e marcou o início do uso de coliformes como indicadores de patógenos em águas, uma prática que foi estudada para os alimentos.

Os coliformes são bastonete gran-negativos, não-esporulados, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás, dentro de 24 – 48 horas a 35 – 37 °C e produzem colônias escuras com brilho metálico em ágar. Assim como muitas outras bactérias Gran-negativas não-patogênicas, os coliformes crescem bem em uma ampla variedade de meios e em muitos alimentos. Eles foram descritos crescendo em temperaturas tão baixas quanto -2°C e tão altas quanto 50°C. Em alimentos, o crescimento é pobre ou muito lento a 5°C, embora vários pesquisadores tenham demonstrado o crescimento de coliformes em temperaturas de 3°C a 6°C. Os coliformes foram descritos crescendo pH entre 4,4 a 9,0 (JAY, 2005).

O grupo de coliformes, de acordo com THIELMANN (2004), inclui bactérias aeróbicas facultativas na forma de bastonetes gran-negativos, não formadores de esporos, capazes de fermentar a lactose com produção de ácido e gás, na temperatura de 30 a 35°C.

Os coliformes a 45°C são uns grupos de bactérias capazes de crescer e fermentar a lactose em temperaturas elevadas, a partir dos tubos de Duham, após incubação, e apresentarem formação de gás (THIELMANN, 2004).

3.2.6 – Características sensoriais

As citações sobre as características sensoriais são as mesmas para umbuzada composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura, como descritas no Capítulo 1.

3.3 – MATERIAL E MÉTODOS

A etapa desta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPPA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

3.3.1 Matéria prima

A matéria prima utilizada foi a umbuzada composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura conforme descrito nos itens 1.3.2 e 1.3.3 do Capítulo 1 e mencionado na Tabela 1.2 deste Capítulo cuja formulação F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu; F2, com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e F3, com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu sem qualquer tratamento, passando apenas pelos processos de homogeneização e congelamento.

3.3.2 – Cinética de congelamento

Foram colocados 100g de umbuzada em cada embalagem de polietileno de baixa densidade, selando-a em seguida; após o acondicionamento, foi realizada a cinética de congelamento das três formulações da umbuzada, em freezer, a temperatura de -20 °C; a temperatura de -170 °C (no vapor de nitrogênio) até -50 °C e a temperatura de -196 °C (por imersão em nitrogênio líquido) até -50°C; as curvas da cinética de congelamento foram obtidas introduzindo-se um termopar tipo K de 0,12 mm no centro geométrico da embalagem com umbuzada, sendo este termopar acoplado a um medidor marca Digi Sensi Modelo Cole Parmer; na extremidade do termopar foi acoplado um arame para evitar que o mesmo ficasse em contato com as paredes da embalagem, mantendo-se na posição central; o orifício aberto para introdução do termopar foi vedado com silicone; em todos os métodos de congelamento a embalagem com o produto foi mantida na posição horizontal, considerando-se a posição de uma placa plana, Figura 3.4.



Figura 3.4 – Procedimento de determinação da cinética de congelamento realizada na amostra de umbuzada (cesta de arame, termopar e medidor de temperatura)

Considerando-se a amostra placa plana, de espessura $2L$, no instante $F_0 = (\alpha/L^2).t$ (tempo adimensional, denominado número de Fourier), foram realizados os cálculos através da equação de transferência de calor em regime transiente de acordo com CRANK (1975). Os gráficos foram feitos utilizando-se a razão de temperatura com o tempo; as equações utilizadas foram:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp \left(\sigma_n^2 - F_0 \right) \quad (3.1)$$

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = RT$$

$$A_n = \frac{2 \cdot \text{sen } \sigma_n}{\sigma_n + \text{sen } \sigma_n \cdot \cos \sigma_n} \quad (3.2)$$

$$F_0 = \left(\frac{\alpha}{L^2} \cdot t \right) \quad (3.3)$$

em que: **RT** = Razão de temperatura, adimensional, **T** = Temperatura em cada momento, (°C), **T_∞** = Temperatura no meio de congelamento, (°C), **T₀** = Temperatura inicial do

produto, ($^{\circ}\text{C}$), F_0 = Número de Fourier, adimensional, A_n = Constante que depende do produto, σ_n = Raiz transcendental, α = Difusividade térmica, $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$, L = Espessura da amostra/2, t = Tempo, s.

3.3.3 – Métodos de congelamento inicial

3.3.3.1 – Congelamento a -20°C (em freezer)

O congelamento a -20°C foi realizado em freezer horizontal da marca FRICON – FHD 427 L, enquanto as leituras foram realizadas a cada 5 minutos, até a estabilização da temperatura.

3.3.3.2 – Congelamento a temperatura de -170°C (vapor de nitrogênio líquido) até -50°C

Esta operação foi realizada em uma caixa metálica de base cilíndrica de 26,0 cm de diâmetro e altura de 20,0 cm, revestida com poliestireno expandido de 4,0 cm de espessura e mais uma camada de chapa de alumínio de 3,0 mm de espessura, de forma que a amostra ficasse acima do nível do nitrogênio líquido, sendo criocongeladas com o vapor do mesmo a -170°C , até a temperatura de -50°C monitorado por um termopar tipo K. As leituras foram realizadas a cada minuto, utilizando-se o aparelho Digi Sensi modelo Cole Parmer. Após o congelamento a amostra de umbuzada congelada foi retirada do vapor de nitrogênio e levada imediatamente ao balcão criogênico de -50°C para se proceder ao seu armazenamento, por 120 dias.

3.3.3.3 – Congelamento a temperatura de -196°C (imersão em nitrogênio líquido) até -50°C

A operação foi a mesma utilizada para o congelamento no vapor de nitrogênio, só que a amostra foi imersa no nitrogênio líquido, em temperatura de -196°C . As leituras foram realizadas a cada 3 segundos utilizando-se o mesmo equipamento de medição mencionado no item anterior; após o congelamento a amostra de umbuzada foi retirada do nitrogênio líquido e levada imediatamente ao balcão criogênico, para se proceder ao seu armazenamento a -50°C , durante 120 dias.

3.3.4 – Determinação das características físico-químicas

A umbuzada, composta de extrato de soja, polpa de umbu e rapadura em estudo, foi avaliada por meio do percentual de proteína bruta, carboidratos, lipídios, cinzas e teor de água, além da determinação de pH, acidez total titulável e valor calórico, os quais foram determinados segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (Brasil, 2005).

3.3.5 – Análises microbiológicas

3.3.5.1 – Coliformes a 35 °C e a 45 °C

A determinação de coliformes a 35 °C e a 45 °C foi realizada pela técnica dos tubos múltiplos, com três séries de três tubos (10-1, 1 e 10), empregando-se, como meio presuntivo, o caldo Lauril Sulfato Triptose, com incubação a 35 °C, durante 48 horas; após a leitura os tubos positivos (que apresentavam gás) foram repicados para caldo verde brilhante bile, a 2% de lactose, para confirmação da presença de coliformes totais, incubados em temperatura de 35 °C, por 24 a 48 horas; posteriormente, foram repicados para “caldo EC” (*Escherichia coli*), visando prova confirmativa de coliformes fecais, incubados em temperatura de 45 °C, em banho-maria, com agitação, durante 24 a 48 horas.

3.3.6 – Análise sensorial

Os procedimentos para realização da análise sensorial durante o armazenamento das três formulações da umbuzada, foram os mesmos como descritos no Capítulo 1.

Todos os resultados da análise sensorial foram analisados visando identificar a formulação com melhor aceitação; os resultados foram processados pelo programa computacional Concessor.

3.3.7 – Análise dos dados experimentais

Os coeficientes da equação 3.1 foram calculados utilizando-se o programa Statistica 7.0, fazendo-se uma análise de regressão não-linear da razão de temperatura, em função do tempo. As curvas obtidas durante o congelamento foram divididas em três partes

correspondentes às três fases do congelamento das três formulações da umbuzada, F1, F2 e F3 (resfriamento, congelamento e pós-congelamento).

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das diferentes formulações de umbuzada foram analisados utilizando-se o programa computacional Assista 7.5 Beta (SILVA, 2006), para o delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 3 repetições.

3.4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.4.1 – Cinética de Congelamento

Tem-se, no Apêndice C3, os valores experimentais e calculados da razão de temperatura (RT) e do tempo de congelamento das amostras da umbuzada composta com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, para as temperaturas de congelamento de -20 °C (em freezer), -170 °C (no vapor de nitrogênio) até -50 °C e a -196 °C (imersão em nitrogênio) até -50 °C.

3.4.1.1 – Cinética de congelamento da umbuzada na temperatura de -20 °C

Encontram-se na Figura 3.5, as curvas de congelamento a -20 °C, das três formulações da umbuzada, em que a formulação F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, a F2 com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu. Percebe-se que todas as curvas das amostras submetidas ao congelamento lento (-20 °C) possuem as três fases do congelamento bem definidas, ou seja, resfriamento (fase I), congelamento ou cristalização (fase II) e pós-congelamento (fase III), se assemelhando-se à curva de congelamento da água pura devido, provavelmente, ao fato das amostras apresentarem altos percentuais de AGU, a correspondentes a 79,63% (50%), 80,34 (40%) e 80,90% (30%). CAVALCANTI MATA *et al.* (2005) também observaram que a curva de congelamento da polpa de graviola apresentou as três fases de congelamento (resfriamento, congelamento e pós-congelamento), característico da curva de congelamento da água, em virtude da polpa de graviola conter 89% de água, o que explica a semelhança da curva de congelamento da polpa com a curva de congelamento da água, comportamento este observado também por KASAHARA (1986) ao estudar o congelamento da polpa de mamão.

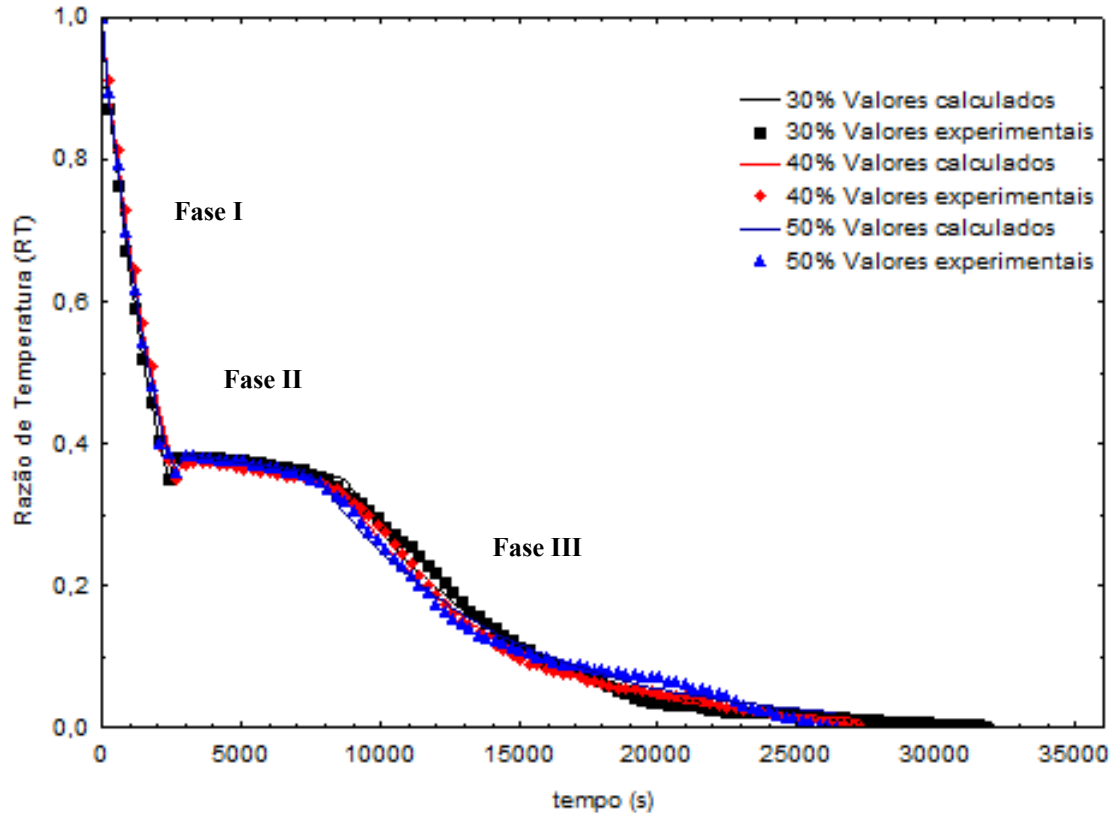


Figura 3.5– Curva de congelamento das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada a -20 °C

Durante a fase I de resfriamento da amostra de umbuzada composta de 50% de polpa de umbu, a razão de temperatura decai de 1,0 (28,0 °C) para aproximadamente 0,36 (-2,6 °C) em 2700 segundos, enquanto nas formulações com 40 e 30% de polpa de umbu a razão de temperatura baixou de 1,0 (28 e 27 °C) até 0,35 (-3,3 e -3,4) nos tempos de 2700 e 2400 segundos, respectivamente.

Na fase II, chamada fase de congelamento ou cristalização, o período de tempo necessário para a amostra de umbuzada, composta por 50% de polpa de umbu, atingir o completo congelamento, foi de aproximadamente 4200 segundos, com o valor da razão de temperatura adimensional igual a 0,36 (-2,6 °C a -2,7 °C) enquanto as demais amostras atingiram o congelamento em 5100 segundos (40% de polpa de umbu) e 5400 segundos (30% de polpa de umbu), para os valores da razão de temperatura iguais a 0,35 (-3,1 °C a -3,4 °C).

Já na fase de pós-congelamento (fase III), que corresponde à fase de diminuição da temperatura após o congelamento do produto, a formulação com 50% de polpa de umbu decaiu até alcançar a temperatura do meio no qual estava sendo congelada (-20 °C), em 19800

segundos, sendo que a razão de temperatura adimensional da amostra baixou de 0,35 (-2,7 °C) para 0,0 (-20 °C); já na formulação com 40% de polpa de umbu, decaiu de 0,35 (-3,3 °C) para 0,0 (-20 °C) em 19500 segundos, e para a razão de temperatura adimensional da formulação com 30% de polpa de umbu, decaiu de 0,35 (-3,4 °C) para 0,0 (-20 °C) em 24000 segundos.

Os dados encontrados nesta pesquisa estão na mesma ordem de grandeza aos obtidos por FERREIRA *et al.* (2010) que, estudando o congelamento do extrato de soja modificado com 20% de polpa de cajá a (-20 e -40 °C), verificaram que na Fase I (resfriamento) a duração foi igual a 2100 e 1500 segundos, respectivamente; na fase de congelamento do produto (fase II), eles foram de 2700 e 3000 segundos, respectivamente, e no pós-congelamento (fase III), os tempos gastos foram, respectivamente, de 8400 e 7500 segundos. CIABOTTI *et al.* (2000) observaram, estudando a cinética de congelamento do suco de maracujá, na temperatura de -22,6 °C e espessura da amostra de 9 mm, que na fase de resfriamento (fase I) o período de tempo foi aproximadamente de 1200 segundos, com a temperatura baixando de 19,9 °C para -2,3 °C; já na fase de cristalização (fase II), o tempo foi de 5700 segundos e a temperatura decaiu de -2,3 para -6,4 °C enquanto na fase de pós-congelamento (fase III), o tempo foi de 10980 segundos com o produto alcançando a temperatura de -18,7 °C.

Observa-se, nas curvas de congelamento (Figura 3.5), que a amostra de umbuzada composta de 50% de umbu, congelou mais rapidamente que as demais amostras, com o tempo aproximadamente igual a 26700 segundos, enquanto as amostras com 40 e 30% de polpa de umbu congelaram em 27300 e 31800 segundos, respectivamente; provável que o congelamento mais rápido da formulação com 50% de umbu tenha sido provocado pelo fato da mesma apresentar o maior percentual de sólidos totais, correspondente a 20,27%; já as formulações com 40 e 30% de polpa de umbu apresentaram valores de sólidos totais iguais a 19,66% e 19,10%, respectivamente. Segundo NASCIMENTO (2009), ha tendência de diminuição do tempo de congelamento das formulações compostas de leite de cabra e polpa de cajá (10, 20 e 30%), com o aumento da porcentagem de polpa de cajá.

Tem-se, na Tabela 3.2, os valores das espessuras da amostra (L) dos fatores de atraso (a_1) dos coeficientes de difusão (a_2) das difusividades térmicas efetivas (α) das difusividades térmicas efetivas médias (α_m) e dos coeficientes de variação (R^2), das amostras de umbuzada com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, congeladas a -20 °C.

Tabela 3.2– Valores dos coeficientes da curva de congelamento a -20 °C, difusividade térmica efetiva (α) e difusividade térmica efetiva média (α_m) para as três formulações da umbuzada

Formu lações	Fases*	L/2 (mm)	a_1	a_2	α (mm ² /s)	α_m (mm ² /s)	R^2
F1	I	5,25	1,00	$4,37 \times 10^{-4}$	1,20	-	99,98
	II	5,25	0,40	$0,14 \times 10^{-4}$	$5,41 \times 10^{-5}$	-	94,60
	III	5,25	0,16	$1,76 \times 10^{-4}$	$5,69 \times 10^{-4}$	0,09	99,42
F2	I	5,25	1,00	$3,87 \times 10^{-4}$	1,07	-	99,41
	II	5,25	0,39	$0,16 \times 10^{-4}$	$6,14 \times 10^{-5}$	-	97,95
	III	5,25	0,16	$1,82 \times 10^{-4}$	$5,88 \times 10^{-4}$	0,10	99,58
F3	I	5,25	1,00	$4,02 \times 10^{-4}$	1,11	-	99,82
	II	5,25	0,40	$0,16 \times 10^{-4}$	$6,19 \times 10^{-5}$	-	96,97
	III	5,25	0,11	$1,52 \times 10^{-4}$	$4,72 \times 10^{-4}$	0,11	99,38

Nota-se que os valores de difusividade efetiva média das formulações com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, congeladas a -20 °C, são iguais a 0,09, 0,10 e 0,11 mm²/s, respectivamente, com tendência de aumento da difusividade efetiva média (α_m) com o aumento da porcentagem de polpa de umbu. NASCIMENTO (2009) obteve, estudando o congelamento a -20 °C do leite de cabra com 0, 10, 20 e 30% de polpa de cajá, valores de difusividade efetiva média igual a 0,36, 0,43, 0,44 e 0,46 mm²/s, respectivamente, evidenciando a propensão do aumento da difusividade efetiva média das amostras com o aumento da porcentagem de polpa de cajá.

3.4.1.2 – Cinética de congelamento da umbuzada a -170 °C até -50 °C (vapor de nitrogênio líquido)

Na Figura 3.6 tem-se as curvas de congelamento das formulações da umbuzada com 30, 40 e 50% de polpa de umbu submetida à temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido), congelada até a temperatura de -50 °C. Nota-se que todas as curvas das amostras possuem as três fases do congelamento, fato observado também por FERREIRA (2000), ao estudar o congelamento da polpa de umbu na temperatura de -110 °C, porém FRANÇA (2009), ao congelar o leite de cabra nessa mesma temperatura, constatou apenas duas fases na curva de congelamento, tal como constatado por NASCIMENTO (2009), estudando o

congelamento das formulações com leite de cabra em diferentes concentrações de polpa de cajá (10, 20 e 30%), na temperatura de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$, pois a fase II geralmente não é percebida em virtude da velocidade de congelamento.

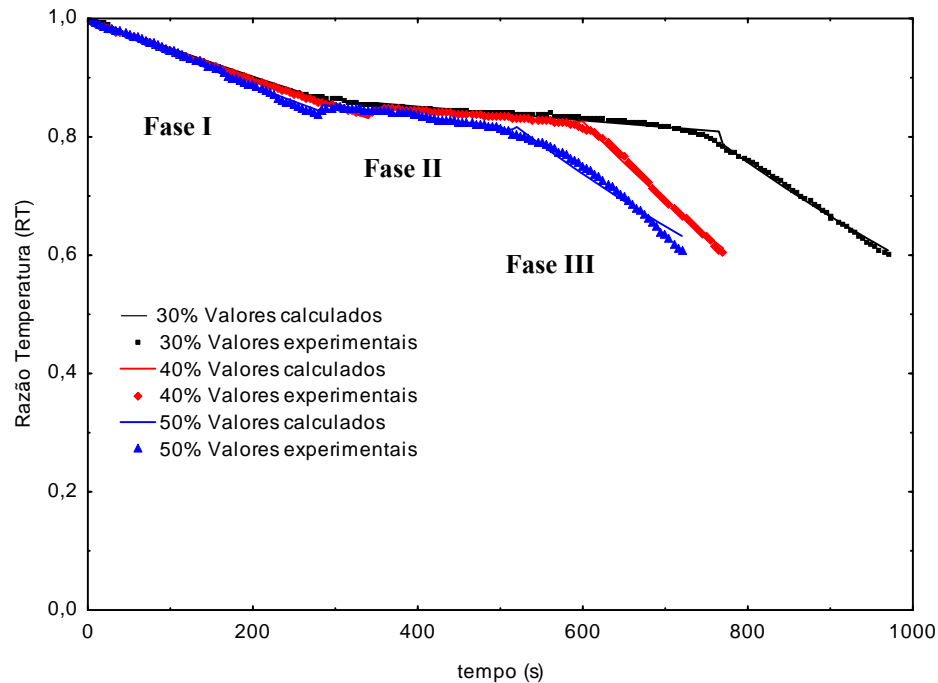


Figura 3.6– Curva de congelamento das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, na temperatura de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vapor de nitrogênio) até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Verifica-se, na Fase I (resfriamento), que a formulação com 50% de polpa de umbu resfriou mais rapidamente que as demais amostras, com o tempo de 280 segundos, com a razão de temperatura baixando de 1,0 ($27\text{ }^{\circ}\text{C}$) para aproximadamente 0,83 ($-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), enquanto o tempo de resfriamento das formulações com 40 e 30% de polpa de umbu foi de 340 e 345 segundos, respectivamente; para a razão de temperaturas da formulação com 40% de polpa de umbu, decaiu de 1,0 ($28\text{ }^{\circ}\text{C}$) para 0,83 ($-4,1$) e, na formulação com 30% de polpa de umbu, foi de 1,0 ($28\text{ }^{\circ}\text{C}$) para 0,85 ($-0,1$).

Na fase II (congelamento ou cristalização), os tempos de congelamento para as três formulações foram aproximadamente de 495 (50%), 585 (40%) e 762 (30%) segundos, para as razões de temperaturas próximas a 0,81 ($-9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), 0,82 ($-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) e 0,84 ($-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), respectivamente.

Já na fase III os tempos de pós-congelamento foram iguais a 185 segundos para as formulações com 50 e 40% de polpa de umbu e 205 segundos para a formulação com 30% de polpa de umbu, para os valores da razão de temperatura das formulações, decaindo até 0,60 (-50

°C). No congelamento a temperatura de -170 °C até -50 °C, assim como no congelamento a -20 °C, a formulação que congelou mais rapidamente foi a formulação com 50% de polpa de umbu, com o tempo de 720 segundos, seguida das formulações com 40 e 30% de polpa de umbu com 770 e 970 segundos, respectivamente.

Na Tabela 3.3 se encontram os valores das difusividades térmicas efetivas médias das formulações da umbuzada a formulação F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2, com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3, com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu, congeladas no vapor de nitrogênio líquido a -170 °C até -50 °C. Observa-se nessa tabela, que referidos valores de difusividades térmicas efetivas médias das formulações da umbuzada foram iguais a $0,53\text{mm}^2\text{s}^{-1}$, $0,69\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ e $0,72\text{mm}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente, enquanto F1, F2 e F3 os valores dos coeficientes de determinação referentes às curvas de congelamento (fases I, II e III) foram superiores a 89%; neste congelamento a difusividade térmica cresce com o aumento da porcentagem de polpa de umbu.

Tabela 3.3 – Valores dos coeficientes da curva de congelamento a -170 °C até -50 °C, difusividade térmica efetiva (α), e difusividade térmica efetiva média (α_m) para as três formulações da umbuzada

Formu lações	Fases*	L/2 (mm)	a ₁	a ₂	α (mm ² /s)	α_m (mm ² /s)	R ²
F1	I	5,35	1,00	$5,16 \times 10^{-4}$	1,48	-	97,60
	II	5,35	0,91	$1,39 \times 10^{-3}$	$8,00 \times 10^{-4}$	-	89,16
	III	5,35	0,21	$1,29 \times 10^{-3}$	$4,50 \times 10^{-3}$	0,53	99,33
F2	I	5,35	1,00	$5,42 \times 10^{-4}$	1,55	-	99,71
	II	5,35	0,88	$1,21 \times 10^{-4}$	$6,84 \times 10^{-4}$	-	94,74
	III	5,35	0,24	$1,76 \times 10^{-3}$	$6,31 \times 10^{-3}$	0,69	99,00
F3	I	5,35	1,00	$1,71 \times 10^{-3}$	1,72	-	99,13
	II	5,35	0,91	$7,32 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-3}$	-	94,19
	III	5,35	0,16	$6,85 \times 10^{-3}$	$4,28 \times 10^{-2}$	0,72	95,99

3.4.1.3 – Cinética de congelamento da umbuzada a -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C

Na Figura 3.7 estão as curvas de congelamento das formulações da umbuzada com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, imersas no nitrogênio líquido a -196 °C congeladas até -50 °C. Observa-se que as curvas de congelamento das formulações com 30, 40 e 50% de polpa de umbu não apresentam as fases de resfriamento e congelamento (fases I e II) bem definidas, apenas a fase de pós-congelamento (III) é diferenciada, fato este foi observado também por

ARAÚJO *et al.* (2000), quando estudaram o congelamento de polpa de acerola a -196°C , pois os três períodos do congelamento não se distinguem com clareza. Os mesmos pesquisadores justificaram este comportamento devido à rápida velocidade de congelamento e ao alto gradiente térmico ao qual está exposto o produto.

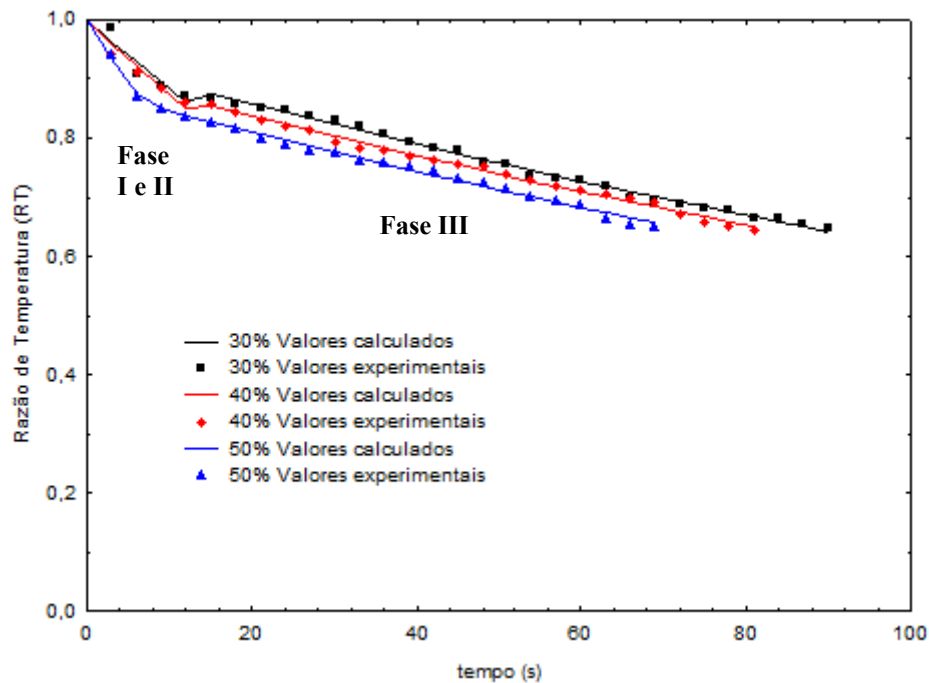


Figura 3.7– Curva de congelamento das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada a -196°C (imersa no nitrogênio líquido) até -50°C

Verifica-se, na curva de congelamento, que a fase correspondente ao resfriamento e ao congelamento (fase I e II) da formulação F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu foi realizada em 6 segundos, que correspondem à razão de temperatura, diminuindo de 1,0 ($28,0^{\circ}\text{C}$) para aproximadamente 0,87 ($-0,8^{\circ}\text{C}$). Com relação às curvas de congelamento das formulações F1, com 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu e F2 com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu, a razão de temperaturas variou, respectivamente, de 1,0 ($28,4^{\circ}\text{C}$) a 0,86 ($-0,8^{\circ}\text{C}$) e de 1,0 ($28,5^{\circ}\text{C}$) a 0,84 ($-1,8^{\circ}\text{C}$), em 12 segundos.

A fase III (pós-congelamento) da curva de congelamento, da formulação F3, levou 63 segundos para atingir a temperatura de -50°C ; na formulação F2 o tempo foi de 69 segundos e para a formulação F1, o tempo foi de 78 segundos.

Nota-se que a formulação F3 foi a que alcançou a razão de temperatura final em menor tempo, 72 segundos; com relação às formulações F2 e F1, esses tempos foram de 81 e 90 segundos, respectivamente.

Encontram-se, na Tabela 3.4, os valores das espessuras (L), dos fatores de atraso (a_1), dos coeficientes (a_2) das difusividades térmicas efetivas (α) das difusividades térmicas efetivas médias (α_m) e dos coeficientes de variação (R^2), das amostras da umbuzada com extrato de soja, com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, congeladas a $-196\text{ }^\circ\text{C}$ (imersão em nitrogênio líquido) até $-50\text{ }^\circ\text{C}$.

Verifica-se que as formulações F1, F2 e F3 da umbuzada imersa em nitrogênio líquido e congelada até $-50\text{ }^\circ\text{C}$ apresentam valores de difusividade térmica efetiva média igual a $4,74\text{mm}^2\text{s}^{-1}$, $5,76\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ e $7,92\text{mm}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente, valores esses inferiores ao encontrado por AGRA (2006) para manga, que foi de $66,94\text{mm}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 3.4 – Valores dos coeficientes da curva de congelamento a $-196\text{ }^\circ\text{C}$ até $-50\text{ }^\circ\text{C}$, difusividade térmica efetiva (α), e difusividade térmica efetiva média (α_m) para as três formulações da umbuzada

Formu lações	Fases*	L/2 (mm)	a_1	a_2	$\alpha\text{ (mm}^2\text{/s)}$	$\alpha_m\text{ (mm}^2\text{/s)}$	R^2
F1	I	5,35	1,00	$1,23 \times 10^{-2}$	$3,53 \times 10^1$	-	92,17
	II	-	-	-	-	-	-
	III	5,35	0,93	$4,12 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-2}$	4,74	99,43
F2	I	5,35	1,00	$1,35 \times 10^{-2}$	$3,87 \times 10^1$	-	94,91
	II	-	-	-	-	-	-
	III	5,35	0,91	$4,10 \times 10^{-3}$	$2,36 \times 10^{-2}$	5,76	99,40
F3	I	5,35	1,00	$2,21 \times 10^{-2}$	$6,31 \times 10^1$	-	99,00
	II	-	-	-	-	-	-
	III	5,35	0,88	$4,28 \times 10^{-3}$	$2,42 \times 10^{-2}$	7,92	99,13

Para todas as temperaturas de congelamento anteriores, ou seja, a $-20\text{ }^\circ\text{C}$, $-170\text{ }^\circ\text{C}$ até $-50\text{ }^\circ\text{C}$ e para esta temperatura, que é de $-196\text{ }^\circ\text{C}$ até $-50\text{ }^\circ\text{C}$, os valores de difusividade térmica efetiva média aumentam com o aumento da porcentagem de polpa de umbu. Este comportamento segue o constatado por NASCIMENTO (2009) durante o congelamento a $-20\text{ }^\circ\text{C}$, $-170\text{ }^\circ\text{C}$ e $-196\text{ }^\circ\text{C}$ das amostras compostas de leite de cabra e polpa de cajá, nas concentrações de 10, 20 e 30%, conforme mencionado no item 3.4.1.1.

Comparando os valores de difusividade térmica efetiva média das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, nas diferentes temperaturas de congelamento a $-20\text{ }^\circ\text{C}$, $-170\text{ }^\circ\text{C}$ até $-50\text{ }^\circ\text{C}$ e a $-196\text{ }^\circ\text{C}$, percebe-se um aumento dos valores de difusividade efetiva média com a diminuição da temperatura de congelamento, o que justifica a redução do tempo de

congelamento das formulações. Este fato também foi relatado por CAVALCANTI MATA *et al.* (2003), quando congelou o fruto do cajá nas temperaturas de -30, -60 e -90 °C.

3.4.2 – Alterações físico-químicas da umbuzada durante o armazenamento

Nas Tabelas 3.5, 3.7, 3.9, 3.11, 3.13, 3.15, 3.17 e 3.19 estão os parâmetros avaliados durante o armazenamento, nos itens proteínas, o valor calórico, das três formulações da umbuzada, sendo F1 composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2 com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu, congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C; congeladas a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada na temperatura de -50 °C e congeladas a -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenadas na temperatura de -50 °C.

3.4.2.1 – Proteínas

Na Tabela de 3.5 se acham os valores médios das proteínas das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo tempo de 120 dias. Os valores médios das proteínas dos três tipos de formulações (F1, F2 e F3) armazenadas a -20 °C apresentaram um decréscimo com o tempo de 120 dias de armazenamento, embora os valores de proteínas tenham permanecido constantes, entre 0 e 80 dias, de 60 a 120 dias, na formulação F1; entre 20 a 60 dias e 60 a 120 dias, na formulação F2 e entre 0 a 60 dias e 80 e 120 dias, na formulação F3. Constatou-se, nesta tabela, que as formulações F1, F2 e F3 indicaram percentuais de redução no final do armazenamento, de 11,15% (F1), 21,66% (F2) e 12,23%% (F3), respectivamente.

De acordo com Tabela 3.5, na formulação F3 congelada a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a temperatura de -50 °C, os valores médios de proteínas permaneceram inalterados após os 40 dias de armazenamento; no entanto, as demais formulações (F1 e F2) apresentaram decréscimo com o tempo de armazenamento e as reduções das proteínas no final do armazenamento com relação ao início foram iguais a 13,55% (F1), 20,45% (F2) e 4,43% (F3), respectivamente.

Verifica-se na Tabela 3.5 que as três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, nos primeiros 20 dias, não apresentaram alterações porém, após os 20 dias nas formulações F2 ocorre uma diminuição da proteína até o final do armazenamento; já os valores de proteínas da formulação F3 permaneceram inalterados até 80 dias de armazenamento; logo após, no entanto, os valores de proteína diminuíram até os 100 dias e permaneceram inalterados até os 120 dias de armazenamento. As reduções dos valores de proteínas, ao longo do armazenamento, foram iguais a 17,84%, 21,66% e 11,60%, respectivamente para as formulações F1, F2 e F3.

Tabela 3.5– Valores médios de proteína (%) das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo de tempo de 120 dias

Formulações composta por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo(dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	1,94	1,94	1,94	1,92	1,92	1,92	1,58	1,58	1,58
20	1,93	1,92	1,95	1,65	1,70	1,87	1,56	1,55	1,58
40	1,88	1,91	1,86	1,62	1,67	1,68	1,54	1,53	1,57
60	1,84	1,91	1,76	1,58	1,61	1,66	1,52	1,51	1,55
80	1,83	1,82	1,74	1,55	1,56	1,61	1,43	1,51	1,49
100	1,77	1,71	1,70	1,51	1,54	1,55	1,41	1,51	1,40
120	1,73	1,68	1,59	1,50	1,53	1,51	1,38	1,51	1,40

Com base na Figura 3.8, conclui-se que os valores de proteínas, das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, período de tempo de 120 dias, diminuíram gradativamente durante todo o armazenamento, dependendo do tipo de congelamento sendo mais eficaz que o outro, em diferentes períodos de armazenamento.

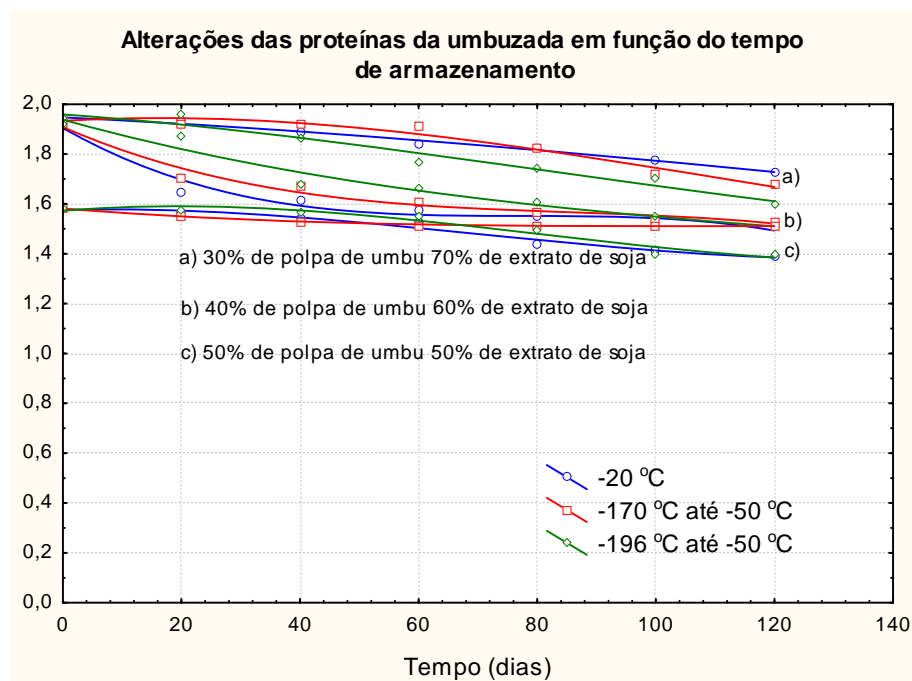


Figura 3.8 – Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores das proteínas das formulações (F1, F2 e F3) das umbuzadas congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico das três formulações (F1, F2 e F3) das umbuzadas congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo período de 120 dias, estão representados nas Tabelas 3.6, 3.8, 3.10, 3.12, 3.14, 3.16 e 3.18.

Na Tabela 3.6 se encontram os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de proteínas das três formulações da umbuzada congeladas nas diferentes temperaturas estudada. Observando-se os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,85%, para o menor coeficiente e 0,99%, para o maior coeficiente, e os erros variam numa faixa entre 0,002%, para menor erro e 0,079%, para o maior erro.

Tabela 3.6 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de proteínas das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	$\text{Prot}_{-20^\circ\text{C}} = 1,948 - 0,0012.t - 6,99 \cdot 10^{-6}.t^2 + 1,181 \cdot 10^{-8}.t^3$	0,99	0,002
F1	$\text{Prot}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,93 + 0,0015.t - 4,72 \cdot 10^{-5}.t^2 + 1,389 \cdot 10^{-7}.t^3$	0,92	0,025
F1	$\text{Prot}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,96 - 0,0017.t - 2,0 \cdot 10^{-5}.t^2 + 8,16 \cdot 10^{-8}.t^3$	0,97	0,002
F2	$\text{Prot}_{-20^\circ\text{C}} = 1,9054 - 0,0136.t - 0,0002 \cdot 10^{-2}.t^2 + 7,5174 \cdot 10^{-7}.t^3$	0,85	0,014
F2	$\text{Prot}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,9088 - 0,0103.t - 0,0001 \cdot 10^{-6}.t^2 + 4,2847 \cdot 10^{-7}.t^3$	0,90	0,005
F2	$\text{Prot}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,9385 - 0,0066.t - 3,6262 \cdot 10^{-5}.t^2 + 9,2361 \cdot 10^{-8}.t^3$	0,96	0,005
F3	$\text{Prot}_{-20^\circ\text{C}} = 1,5756 + 0,0007.t - 4,3786 \cdot 10^{-5}.t^2 + 2,0799 \cdot 10^{-7}.t^3$	0,96	0,003
F3	$\text{Prot}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,5814 - 0,0019.t + 1,6256 \cdot 10^{-5}.t^2 + 4,6181 \cdot 10^{-8}.t^3$	0,88	0,079
F3	$\text{Prot}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,5724 + 0,002.t - 5,8982 \cdot 10^{-5}.t^2 + 2,434 \cdot 10^{-7}.t^3$	0,92	0,029

3.4.2.2 - Carboidratos

Na Tabela 3.7 se encontram os valores médios dos carboidratos das formulações (F1, F2 e F3) das umbuzadas congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20°C , congeladas a -170°C até -50°C e armazenadas a -50°C e congeladas a -196°C até -50°C e armazenadas a -50°C , pelo tempo de 120 dias. Observa-se, na mesma tabela que, com os valores médios de carboidratos das formulações da umbuzada congelada a -20°C , ocorreu um pequeno decréscimo com o tempo de armazenamento. Comparando os valores finais e iniciais dos carboidratos das formulações, os valores diminuíram 12,43, 7,02 e 9,21%, respectivamente. MOTA (2006) constatou, avaliando o carboidrato do suco de amora-preta do grupo Guarani, durante os 120 dias de armazenamento a 8°C , uma redução de 9,69%, próxima ao valor encontrado para este trabalho para a formulação F3.

Verifica-se, na Tabela 3.7, que na umbuzada congelada a -170°C até -50°C e armazenadas a -50°C os valores médios dos carboidratos da formulação F1 diminuíram entre 0 e 20 dias, permaneceram constantes entre 20 a 60 dias e 60 a 120 dias enquanto na formulação F2 os valores de carboidrato diminuíram entre 0 e 20 dias e permaneceram constantes após os 20 dias de armazenamento; já na formulação F3 os valores de carboidrato aumentaram entre 0 e 20 dias e permaneceram constantes após os 20 dias de armazenamento. Os valores de carboidratos das formulações de umbuzada F1 e F2 diminuíram 6,89 e 1,87%, respectivamente enquanto o valor dos carboidratos da F3 aumentou 1,47%. Percebe-se que nas três

formulações, F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo tempo de 120 dias os valores médios dos carboidratos permaneceram inalterados.

Tabela 3.7 – Valores médios dos carboidratos das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias

Formulações composta por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	16,28	16,31	16,28	17,18	17,10	17,10	17,69	17,69	17,69
20	14,88	15,46	15,59	16,43	16,74	17,17	17,14	17,94	17,71
40	14,92	15,40	15,50	16,75	16,76	17,22	17,12	17,94	17,74
60	14,92	15,30	15,48	16,80	16,77	17,27	17,06	17,96	17,75
80	14,31	15,26	15,35	15,83	16,77	17,33	16,34	17,96	17,77
100	14,27	15,21	15,21	15,95	16,78	17,41	16,03	17,96	17,78
120	14,26	15,18	15,17	15,98	16,78	17,56	16,06	17,95	17,81

Encontra-se, na Figura 3.9, o efeito da temperatura sobre os valores de carboidratos das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de 120. Observa-se que as menores variações dos valores de carboidratos das três formulações ocorreram nas temperaturas de congelamento iguais a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C.

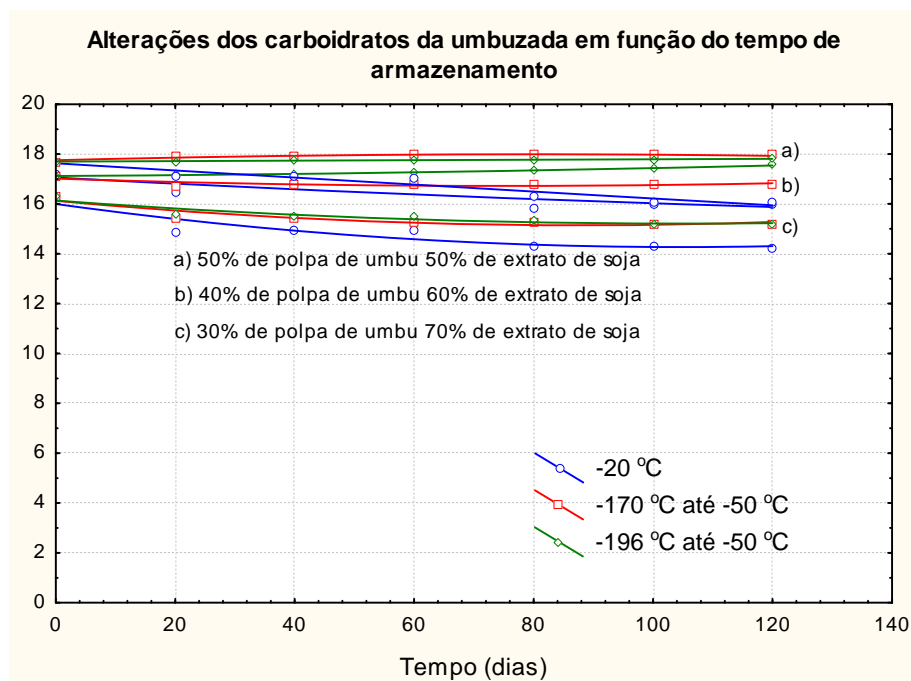


Figura 3.9 – Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores dos carboidratos das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias

Na Tabela 3.8 se encontram os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de carboidratos das três formulações da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudada. Observando os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,52%, para o menor coeficiente e 0,99%, para o maior coeficiente, enquanto os erros variam numa faixa entre 0,001%, para menor erro e 0,225%, para o maior erro.

Tabela 3.8 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) dos carboidratos das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	$\text{Carb}_{-20^\circ\text{C}} = 16,0004 - 0,0331.t + 0,0002.t^2$	0,85	0,013
F1	$\text{Carb}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 16,1325 - 0,0224.t + 0,0001.t^2$	0,78	0,035
F1	$\text{Carb}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 16,1366 - 0,0176.t + 0,0002 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,87	0,009
F2	$\text{Carb}_{-20^\circ\text{C}} = 17,0609 - 0,0128.t + 2,4902 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,82	0,023
F2	$\text{Carb}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 17,0173 - 0,0079.t + 5,2491 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,52	0,225
F2	$\text{Carb}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 17,1234 - 0,0013.t + 1,8565 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,001
F3	$\text{Carb}_{-20^\circ\text{C}} = 17,6343 - 0,0146.t + 4,1726 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,95	0,007
F3	$\text{Carb}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 17,7521 + 0,0061.t + 3,8485 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,65	0,111
F3	$\text{Carb}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 17,6975 + 0,0011.t + 1,0952 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,99	0,004

3.4.2.3–Lipídios

Na Tabela 3.9 se encontram os valores médios dos lipídios das formulações (F1, F2 e F3) de umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20°C , congelada a -170°C até -50°C e armazenada a -50°C e congelada a -196°C até -50°C e armazenada a -50°C , pelo período de 120 dias.

Verifica-se, na tabela anterior, que, para os três tipos de congelamento das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada ocorreu, nos valores médios dos lipídios, um acréscimo de 0,011%, 0,099% e 0,088%, respectivamente, até 60 dias do armazenamento, continuando constante após os 60 dias, até o final do armazenamento, isto é, 120 dias.

Tabela 3.9 – Valores médios dos lipídios das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias

Formulações compostas por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
20	0,95	1,08	1,03	0,96	0,94	0,88	0,80	0,98	0,88
40	1,01	1,10	1,05	0,89	0,86	0,95	0,88	0,92	0,89
60	1,10	1,12	1,08	0,90	0,88	0,96	0,88	0,84	0,81
80	1,10	1,12	1,11	0,94	0,92	0,97	0,84	0,86	0,79
100	1,11	1,13	1,13	0,86	0,95	0,98	0,85	0,89	0,85
120	1,11	1,14	1,14	0,84	0,97	0,98	0,83	0,92	0,86

Na Figura 3.10 se encontra o efeito da temperatura sobre os valores de lipídios das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo período de 120. Observa-se que menores variações dos valores de lipídios das três formulações ocorreram nas temperaturas de congelamento iguais a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C.

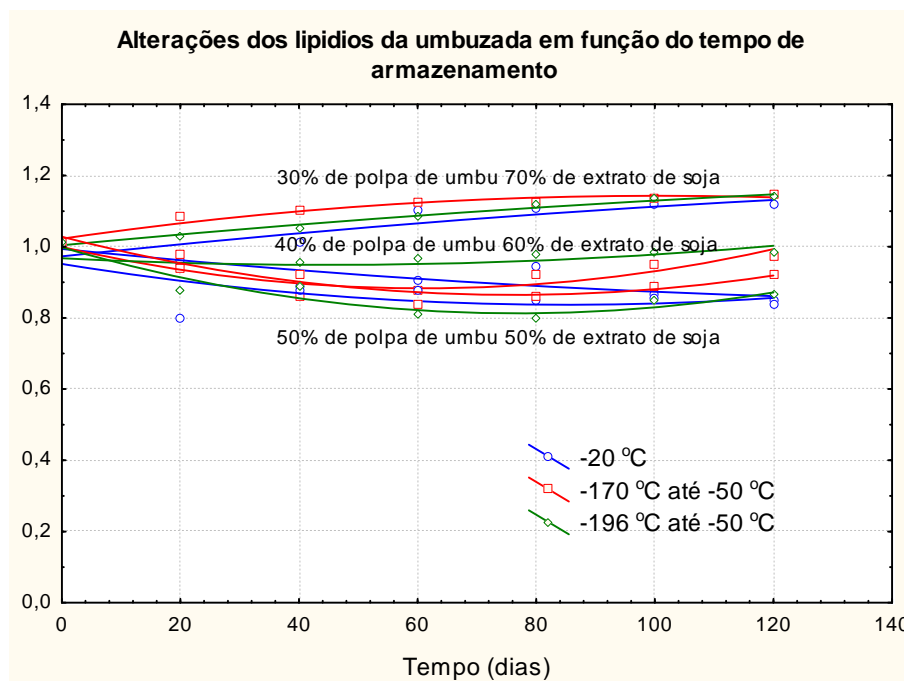


Figura 3.10 – Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores dos lipídios das formulações da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias

Na Tabela 3.10 estão os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) dos lipídios das três formulações da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas; observando-se os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,30%, para o menor coeficiente e 0,98%, para o maior coeficiente; por outro lado, os erros variam numa faixa entre 0,004%, para menor erro e 0,508%, para o maior erro.

Tabela 3.10 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) dos lipídios das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	$\text{Lipí}_{-20^\circ\text{C}} = 0,9727 + 0,0018.t - 3,7649 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,86	0,012
F1	$\text{Lipí}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,0226 + 0,0024.t + 1,1896 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,89	0,006
F1	$\text{Lipí}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,0041 + 0,0016.t + 3,1786 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,98	0,004
F2	$\text{Lipí}_{-20^\circ\text{C}} = 0,9936 - 0,0017.t - 4,7679 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,83	0,019
F2	$\text{Lipí}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 0,9994 - 0,0038.t - 3,1443 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,40	0,324
F2	$\text{Lipí}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 0,9675 - 0,0008.t - 9,4196 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,30	0,508
F3	$\text{Lipí}_{-20^\circ\text{C}} = 0,952 - 0,0027.t + 1,5875 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,51	0,234
F3	$\text{Lipí}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 1,0283 - 0,0043.t + 2,8274 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,64	0,120
F3	$\text{Lipí}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 0,998 - 0,0048.t + 3,1443 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,65	0,110

3.4.2.4-pH

Na Tabela 3.11 se encontram os valores médios do pH das formulações (F1, F2 e F3) das umbuzadas congeladas e armazenadas nas temperaturas de -20°C , congeladas a -170°C até -50°C e armazenadas a -50°C e congeladas a -196°C até -50°C e armazenadas a -50°C , pelo período de 120 dias.

Verifica-se, na Tabela 3.11, a ocorrência de decréscimo nos valores de pH das formulações da umbuzada. Ao final do armazenamento das formulações F1, F2 e F3, congeladas a -20°C , as diminuições foram de 12,57% (F1), 11,72% (F2) e 8,23% (F3), respectivamente, a -170°C até -50°C os valores de pH diminuíram 9,47 (F1), 5,23 (F2) e 5,07% (F3), respectivamente; a -196°C até -50°C e cujos valores foram iguais a 10,51% (F1), 5,23% (F2) e 1,01% (F3), respectivamente, quando comparados com os valores iniciais e finais do pH do armazenamento. BRUNINI *et al.* (2003) obtiveram, ao estudar a estabilidade da polpa triturada de goiaba “Paluma” durante 120 dias de armazenamento a -20°C , uma redução de 4,4% no valor do pH da polpa, ou seja, diminuição menor que a encontrada neste trabalho.

Tabela 3.11 – Valores médios do pH das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias

Formulações compostas por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	3,55	3,55	3,55	3,18	3,18	3,18	2,95	2,95	2,95
20	3,37	3,44	3,41	3,06	3,14	3,11	2,79	2,92	2,95
40	3,25	3,37	3,37	2,90	3,12	3,09	2,80	2,90	2,94
60	3,23	3,33	3,28	2,87	3,11	3,07	2,77	2,82	2,93
80	3,17	3,29	3,26	2,84	3,08	3,05	2,77	2,82	2,94
100	3,13	3,23	3,21	2,83	3,04	3,04	2,75	2,80	2,93
120	3,10	3,21	3,18	2,81	3,02	3,02	2,71	2,80	2,92

Encontra-se, na Figura 3.11, o efeito da temperatura sobre os valores de pH das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo tempo de 120.

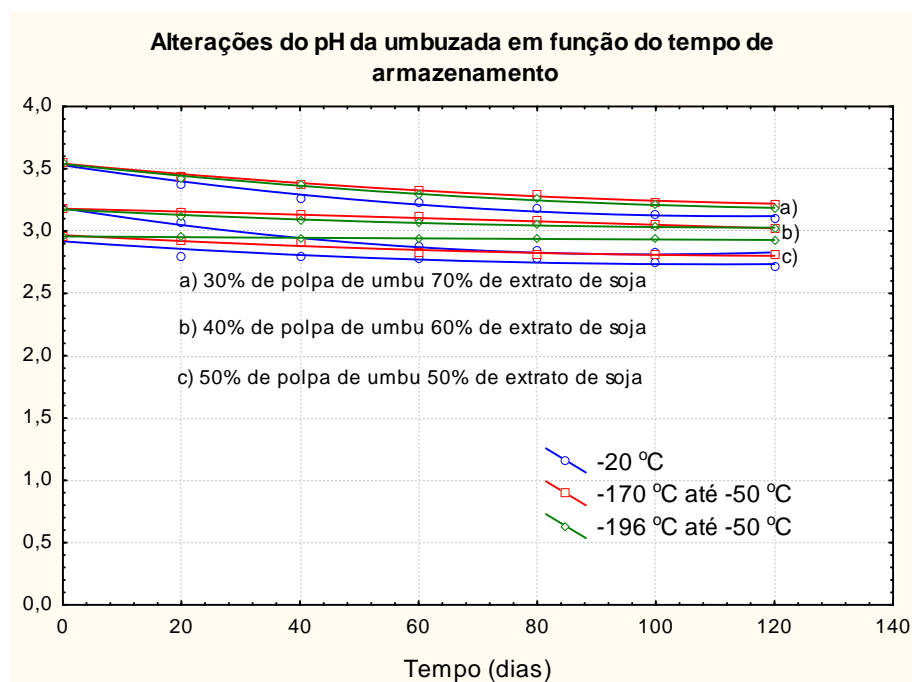


Figura 3.11 – Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores do pH das formulações da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, durante de 120 dias

Percebem-se na Tabela 3.12, os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do pH das três formulações da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas, quanto aos coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,85%, para o menor coeficiente e 0,99%, para o maior coeficiente; já os erros variam numa faixa entre 0,001%, para menor erro e 0,014%, para o maior erro.

Tabela 3.12 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do pH das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	$\text{pH}_{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,5301 - 0,0072.t + 3,1339 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,94	0,001
F1	$\text{pH}_{-170\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,5413 - 0,0045.t + 1,5083 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,002
F1	$\text{pH}_{-196\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,539 - 0,0051.t + 1,8143 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,003
F2	$\text{pH}_{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,1834 - 0,0075.t + 3,7798 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,90	0,005
F2	$\text{pH}_{-170\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,18 - 0,0012.t - 1,4792 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,99	0,008
F2	$\text{pH}_{-196\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,1737 - 0,0024.t + 9,9256 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,94	0,001
F3	$\text{pH}_{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 2,9177 - 0,0034.t + 1,528 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,85	0,014
F3	$\text{pH}_{-170\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 2,9672 - 0,0026.t + 9,8244 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,94	0,001
F3	$\text{pH}_{-196\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 2,9564 - 0,0003.t + 3,0952 \cdot 10^{-7}.t^2$	0,93	0,001

3.4.2.5 – Acidez total titulável

Na Tabela 3.13 se encontram os valores médios da acidez total titulável das formulações (F1, F2 e F3) de umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, durante 120 dias.

Percebe-se, na Tabela 3.13, que nos três tipos de congelamento os valores médios da acidez total titulável das formulações da umbuzada apresentaram acréscimo com o tempo de armazenamento. As formulações F1, F2 e F3 aumentaram 12,67%, 15,63% e 8,08%,

respectivamente congeladas a -20 °C. ARÉVALO-PINEDO *et al.* (2010) atribuíram o aumento da acidez total titulável das formulações de pequi ao início de reações hidrolíticas dos ácidos graxos presentes em altas concentrações na pasta de pequi. HAULY *et al.* (2005) observaram, estudando o armazenamento do iogurte de soja durante 21 dias de armazenamento a 4 °C que a acidez total titulável também aumentou com o tempo de armazenamento em 50%. No congelamento a -170 °C até -50 °C os percentuais foram iguais a 5,92% (F1), 13,42% (F2) e 7,39% (F3), respectivamente. TAVARES *et al.* (1998) encontraram, estudando o comportamento do congelamento e armazenamento da acerola a -72 °C e -10 °C, respectivamente, um aumento de 1,74% no valor da acidez total titulável no final de 36 dias de estocagem. Os percentuais das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congeladas a -196 °C até -50 °C foram iguais a 5,77, 21,73 e 13,14%, respectivamente. GRANATO *et al.* (2010) notaram, avaliando o comportamento de uma sobremesa não láctea, elaborada com soja e suco de goiaba, por sessenta dias de estocagem refrigerada (7 °C), observaram um aumento de 19,04% no valor da acidez total titulável no final do armazenamento. A tendência de aumento dos valores de acidez total titulável se deve provavelmente às reações ocorridas com os ácidos orgânicos, já que a polpa de umbu utilizada nas formulações não estava madura.

Tabela 3.13 – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo tempo de 120 dias

Formulações composta por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	8,89	8,89	8,89	11,32	11,32	11,32	13,62	13,62	13,62
20	8,98	8,90	8,91	11,34	11,43	11,41	13,71	13,67	13,68
40	9,06	9,02	8,93	11,70	11,76	11,43	13,91	13,71	13,83
60	9,00	9,05	8,97	11,86	11,78	11,78	14,02	13,91	13,87
80	9,39	9,08	9,33	12,58	12,03	12,72	14,11	14,16	14,00
100	9,67	9,36	9,38	12,58	12,08	13,74	14,51	14,35	14,04
120	10,01	9,42	9,40	13,09	12,84	13,78	14,72	14,62	15,41

Encontra-se, na Figura 3.12, o efeito da temperatura sobre os valores da acidez total titulável das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de 120 dias.

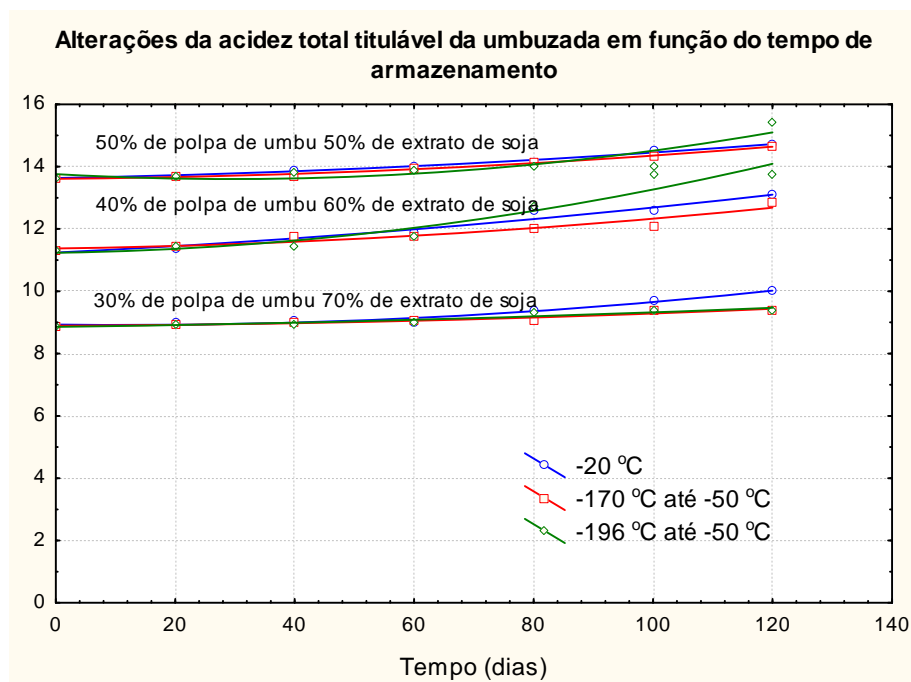


Figura 3.12 – Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores da acidez total titulável das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, durante 120 dias

Verificam-se, na Tabela 3.14, os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) da acidez total titulável das três formulações da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas, com base os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,78%, para o menor coeficiente e 0,97%, para o maior coeficiente, enquanto os erros variam numa faixa entre 0,001%, para menor erro, e 0,035%, para o maior erro.

Tabela 3.14 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) da acidez total titulável das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	$\text{Acidez}_{-20^\circ\text{C}} = 8,9302 - 0,0021.t - 9,3351 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,92	0,002
F1	$\text{Acidez}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 8,8905 + 0,0009.t - 3,0952 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,94	0,001
F1	$\text{Acidez}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 8,8579 + 0,0024.t - 2,2607 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,92	0,002
F2	$\text{Acidez}_{-20^\circ\text{C}} = 11,2447 + 0,0093.t - 5,1688 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,002
F2	$\text{Acidez}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 11,3714 + 0,0027.t - 6,8357 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,93	0,001
F2	$\text{Acidez}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 11,236 + 0,0028.t - 0,0002 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,93	0,001
F3	$\text{Acidez}_{-20^\circ\text{C}} = 13,6337 + 0,0037.t - 2,2607 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,002
F3	$\text{Acidez}_{-170^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 8,8579 + 0,0024.t - 2,2607 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,003
F3	$\text{Acidez}_{-196^\circ\text{C até } -50^\circ\text{C}} = 8,8579 - 0,0108.t - 0,0002 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,78	0,035

3.4.2.6 – Cinzas

Na Tabela 3.15 se encontram os valores médios de cinzas das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20°C , congelada a -170°C até -50°C e armazenada a -50°C e congelada a -196°C até -50°C e armazenada a -50°C , por 120 dias. Por outro lado se constata, nesta tabela, que no congelamento a -20°C os valores das cinzas das formulações de umbuzada F1 e F3 permaneceram constantes ao longo do armazenamento; enquanto na formulação F2, os valores de cinzas ficaram constantes entre 0 e 60 dias e 80 a 120 dias, havendo diferença de 0,002% nos valores apenas entre 60 e 80 dias, que nos dois tipos de congelamento em nitrogênio líquido a -170°C até -50°C e a -196°C até -50°C os valores de cinzas permaneceram inalterados em todas as formulações (F1, F2 e F3) durante o armazenamento.

Tabela 3.15 – Valores médios de cinza das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo período de tempo de 120 dias

Formulações composta por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	0,48	0,48	0,48	0,50	0,50	0,50	0,58	0,58	0,58
20	0,47	0,47	0,48	0,52	0,52	0,53	0,57	0,57	0,58
40	0,47	0,47	0,48	0,51	0,52	0,52	0,59	0,57	0,57
60	0,48	0,48	0,48	0,51	0,53	0,53	0,58	0,58	0,58
80	0,47	0,48	0,48	0,56	0,54	0,53	0,59	0,58	0,58
100	0,47	0,48	0,47	0,56	0,53	0,53	0,59	0,59	0,58
120	0,48	0,48	0,47	0,57	0,54	0,52	0,59	0,61	0,57

Tem-se na Figura 3.13, o efeito da temperatura sobre os valores de cinzas das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de 120 dias.

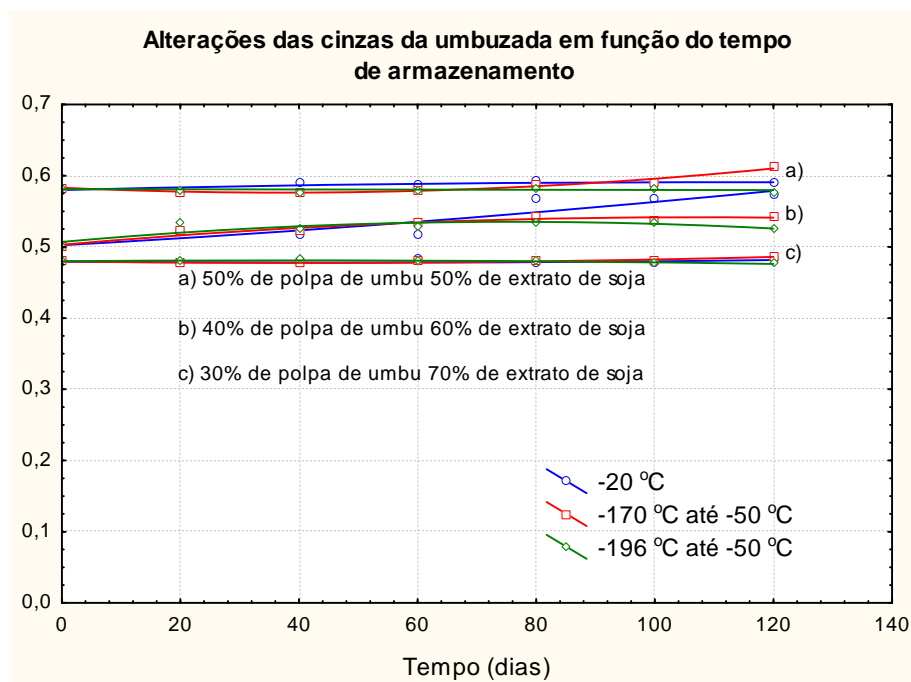


Figura 3.13 – Efeito das temperaturas de congelamento sobre os valores de cinza das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C,

congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de 120 dias

Verificam-se na Tabela 3.16, os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de cinzas das três formulações da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas, observando os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,17%, para o menor coeficiente e 0,91%, para o maior coeficiente; os erros variam numa faixa entre 0,004%, para menor erro e 0,713%, para o maior erro.

Tabela 3.16 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) de cinza das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	Cinzas $_{-20}^{\circ C} = 0,4794 - 6,4821 \cdot 10^{-5} \cdot t + 6,875 \cdot 10^{-7} \cdot t^2$	0,24	0,599
F1	Cinzas $_{-170}^{\circ C \text{ até } -50}^{\circ C} = 0,4795 - 0,0001 \cdot t + 1,3095 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$	0,69	0,084
F1	Cinzas $_{-196}^{\circ C \text{ até } -50}^{\circ C} = 0,4801 - 5,3571 \cdot 10^{-5} \cdot t - 7,1429 \cdot 10^{-7} \cdot t^2$	0,67	0,099
F2	Cinzas $_{-20}^{\circ C} = 0,5024 + 0,0005 \cdot t - 1,4732 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$	0,91	0,004
F2	Cinzas $_{-170}^{\circ C \text{ até } -50}^{\circ C} = 0,503 + 0,0007 \cdot t - 3,4226 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$	0,89	0,005
F2	Cinzas $_{-196}^{\circ C \text{ até } -50}^{\circ C} = 0,507 + 0,0007 \cdot t - 4,9107 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$	0,56	0,184
F3	Cinzas $_{-20}^{\circ C} = 0,58 + 0,0002 \cdot t - 8,9881 \cdot 10^{-7} \cdot t^2$	0,69	0,084
F3	Cinzas $_{-170}^{\circ C \text{ até } -50}^{\circ C} = 0,5832 - 0,0004 \cdot t + 5 \cdot 10^{-5} \cdot t^2$	0,77	0,041
F3	Cinzas $_{-196}^{\circ C \text{ até } -50}^{\circ C} = 0,5811 - 1,0714 \cdot 10^{-5} \cdot t + 3,0284 \cdot 10^{-20} \cdot t^2$	0,17	0,713

3.4.2.7 – Teor de água

Na Tabela 3.17 se acham os valores médios do teor de água das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias; por outro lado se observa, nesta tabela, que no congelamento a -20 °C os valores de teor de água das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada permaneceram constantes entre os tempos 0 a 20 dias e 40 a 120 dias, 0 a 40 dias e 60 a 120 dias, 20 a 40 dias e 60 a 120 dias, respectivamente; embora essas formulações apresentem intervalos de tempo constantes, percebe-se um pequeno decréscimo dos valores de teor de água, inferior a 1%, com o tempo de armazenamento. FRANÇA (2009) percebeu, ao congelar

e armazenar o leite de cabra nas temperaturas de -20 °C e -30 °C que os valores de teor de água não apresentaram tendência de estabilidade durante os 90 dias de armazenamento; no entanto, comparando o tempo inicial e o final, o autor constatou que os valores de umidade permaneceram estatisticamente inalterados. Ainda se verifica na mesma tabela, que no congelamento a -170 °C até -50 °C os valores de teor de água da formulação F1 apresentaram um decréscimo de 0,99% até os 60 dias de armazenamento e após este tempo, os valores do teor de água de 80 a 120 dias permaneceram inalterados. No entanto, na formulação F2 os valores do teor de água se mantiveram inalterados nos tempos de 0 a 40 dias e 20 a 120 dias enquanto na F3 os valores de teor de água continuaram inalterados nos tempos de 0 a 20 e 40 a 120 dias de armazenamento. No final do armazenamento os percentuais de perda de água das formulações foram inferiores a 1%, percebe-se, portanto, que os valores de teor de água das formulações F1, F2 e F3 congelada a -196 °C até -50 °C apresentaram pequeno decréscimo com o tempo de armazenamento, cujos valores foram inferiores a 1% de perdas de água.

Tabela 3.17 – Valores médios do teor de água das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo período de tempo de 120 dias

Formulações compostas por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	80,89	80,89	80,89	80,34	80,34	80,34	79,73	79,73	79,73
20	80,83	80,78	80,82	80,26	80,24	80,28	79,33	79,79	79,59
40	80,57	80,54	80,82	80,27	80,2	80,20	79,31b	79,14	79,28
60	80,55	80,28	80,80	80,16	80,20	80,15	79,14b	79,12	79,24
80	80,53	80,26	80,78	80,12	80,20	80,14	79,14	79,11	79,17
100	80,53	80,24	80,60	80,08	80,18	80,12	79,03	79,07	79,06
120	80,49	80,24	80,48	80,06	80,19	80,06	79,02	79,04	79,06

Encontra-se na Figura 3.14a o efeito da temperatura sobre os valores do teor de água das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo de 120 dias.

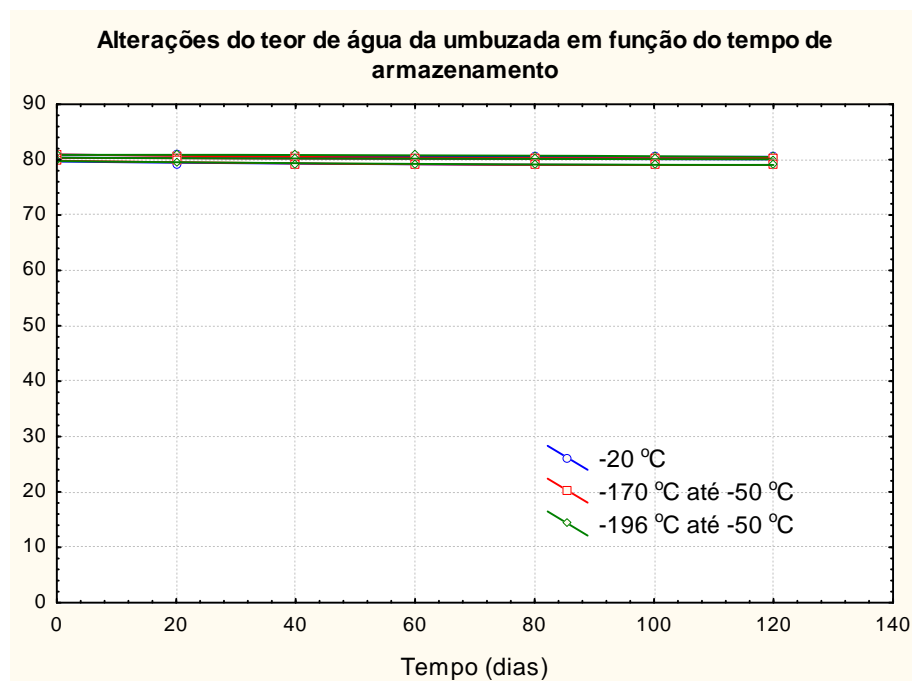


Figura 3.14a – Efeito das temperaturas de congelamento sobre o teor de água das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias

Abrindo a escala da Figura 3.14b, percebe-se o decréscimo de 1,00% a 0,99% sobre os valores do teor de água das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, durante 120 dias.

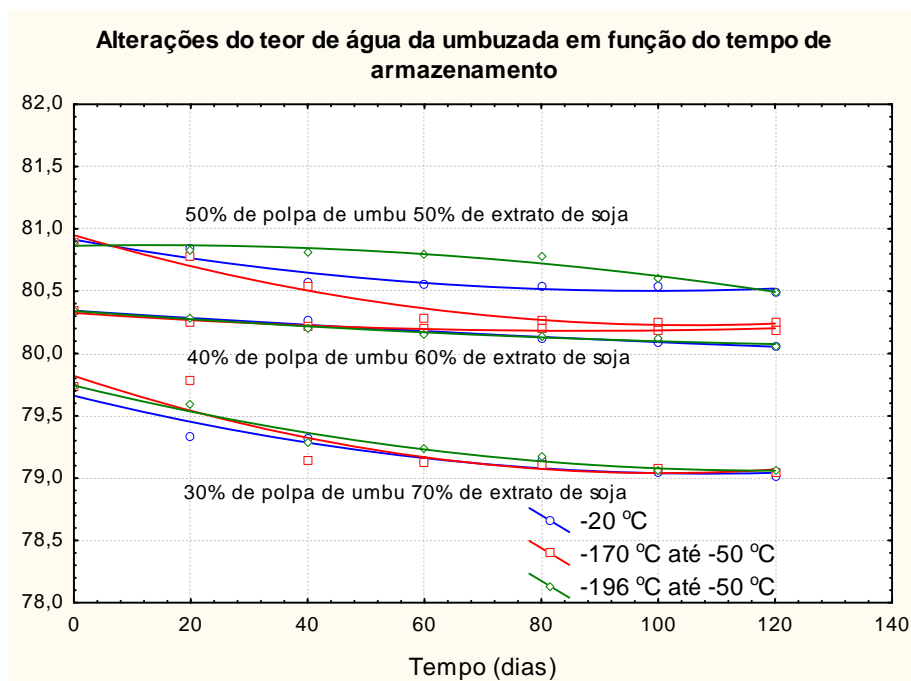


Figura 3.14b – Efeito das temperaturas de congelamento sobre o teor de água das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias

Verificam-se na Tabela 3.18 os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do teor de água das três formulações da umbuzada congeladas nas diferentes temperaturas estudada. Observando os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,81%, para o menor coeficiente, e 0,97%, para o maior coeficiente, e os erros variam numa faixa entre 0,002%, para menor erro, e 0,025%, para o maior erro.

Tabela 3.18 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do teor de água das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	Teor de água $-20\text{ }^{\circ}\text{C} = 80,9141 - 0,0083.t + 4,197 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,87	0,010
F1	Teor de água $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 80,9497 - 0,0137.t + 6,5092 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,91	0,003
F1	Teor de água $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 80,8635 + 0,0009.t - 3,3136 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,91	0,004
F2	Teor de água $-20\text{ }^{\circ}\text{C} = 80,3448 - 0,0031.t + 5,6548 \cdot 10^{-6}.t^2$	0,97	0,002
F2	Teor de água $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 80,326 - 0,0033.t + 1,8836 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,81	0,025
F2	Teor de água $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 80,8413 - 0,0035.t + 1,0912 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,97	0,002
F3	Teor de água $-20\text{ }^{\circ}\text{C} = 79,6617 - 0,0116.t + 5,3375 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,90	0,004
F3	Teor de água $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 79,8202 - 0,0155.t + 7,6979 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,83	0,018
F3	Teor de água $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C} = 79,744 - 0,0114.t + 4,7818 \cdot 10^{-5}.t^2$	0,94	0,001

3.4.2.8 – Valor calórico

Na Tabela 3.19 se encontram os valores médios das calorias das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, congelada a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenada a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e congelada a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenada a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, pelo período de tempo de 120 dias.

Verifica-se na Tabela 3.19 que, no congelamento a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ os valores das calorias das formulações da umbuzada F1 e F3 apresentaram um decréscimo com o tempo de armazenamento entre 0 a 80 dias e 0 a 120 dias, respectivamente. Já os valores de calorias da formulação F2 apresentaram diminuição apenas no período de tempo de 20 a 40 dias de armazenamento. Comparando os valores das calorias iniciais e finais das formulações (F1, F2 e F3) têm-se as seguintes reduções 4,50, 4,19 e 6,53%, respectivamente.

Observa-se na mesma tabela que, no congelamento a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ os valores das calorias da formulação F1 apresentaram um decréscimo com tempo de armazenamento, enquanto nas formulações F2 e F3 os valores das calorias se alteraram apenas nos primeiros 20 dias de armazenamento, permanecendo inalterados até o final do armazenamento. Percebe-se que no congelamento a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ os valores das calorias das formulações F1, F2 e F3 apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, os valores das calorias sofreram alterações com o tempo de armazenamento. Os percentuais de perdas calóricas foram iguais a 4,54% (F1), 1,61% (F2) e 3,07% (F3), respectivamente.

Tabela 3.19 – Valores médios do valor calórico das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada pelo período de tempo de 120 dias

Formulações composta por extrato de soja e polpa de umbu									
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			40% de polpa de umbu (F2)			50% de polpa de umbu (F3)		
	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C	-20	-170 -50 °C	-196 -50 °C
0	77,56	77,56	77,56	78,29	78,29	78,29	80,64	80,64	80,64
20	75,50	76,24	74,30	77,72	77,26	77,63	79,39	77,69	78,64
40	74,62	75,66	74,27	75,33	77,23	77,42	79,25	77,62	78,43
60	74,43	75,34	74,17	75,31	77,23	77,25	78,41	77,62	78,38
80	74,18	75,09	74,13	75,19	77,22	77,12	78,20	77,51	78,36
100	74,10	74,82	74,09	75,13	77,20	77,10	77,61	77,30	78,26
120	74,06	74,70	74,04	75,01	77,05	77,03	77,38	77,26	78,17

Encontra-se na Figura 3.15a o efeito da temperatura, sobre o valor calórico das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congelada a -170 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C e congelada a -196 °C até -50 °C e armazenada a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias.

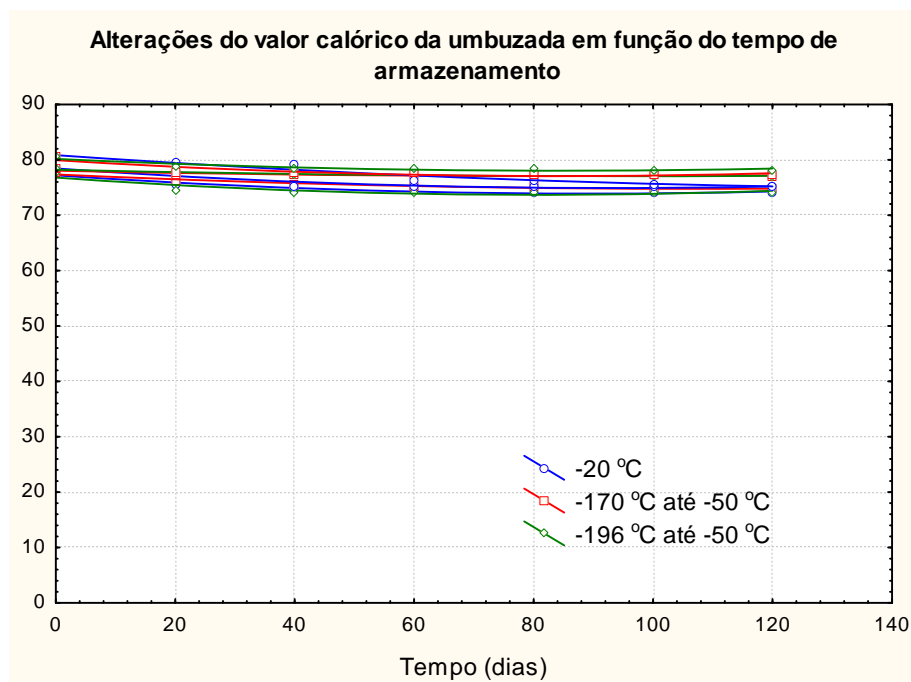


Figura 3.15a – Efeito das temperaturas de congelamento sobre o valor calórico das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C,

congelada a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenada a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e congelada a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenada a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, pelo tempo de 120 dias

Abrindo a escala da Figura 3.15b verifica-se as perdas sobre o valor calórico que variam numa faixa entre 1,61% a 6,53% nas três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, congeladas a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenadas a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e congeladas a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenadas a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, pelo período de tempo de 120 dias.

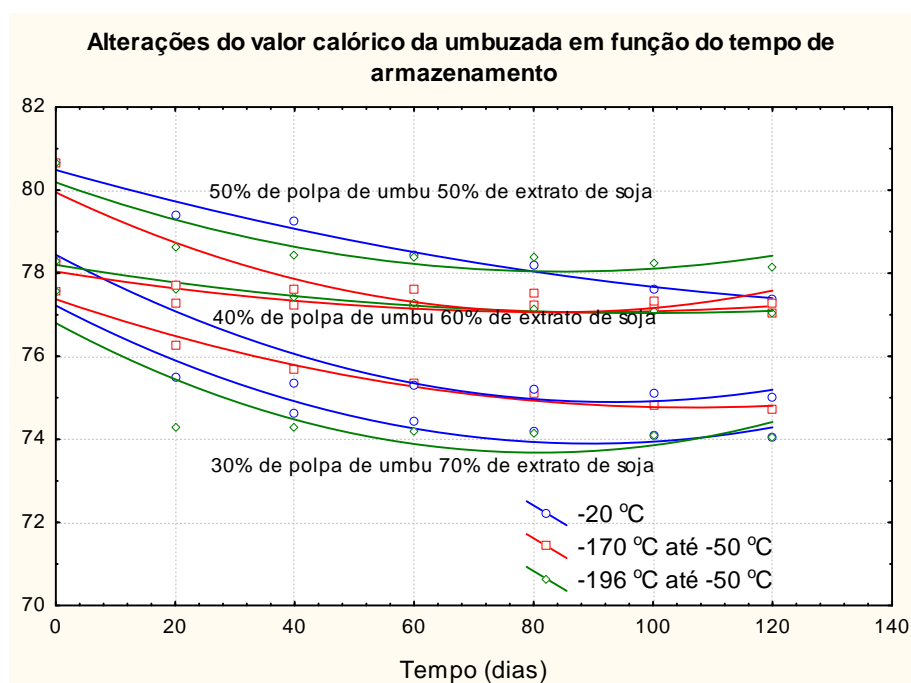


Figura 3.15b – Efeito das temperaturas de congelamento sobre o valor calórico das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada e armazenada nas temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, congeladas a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenada a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e congelada a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e armazenada a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, pelo período de tempo de 120 dias

Verificam-se na Tabela 3.20 os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do valor calórico das três formulações da umbuzada congeladas nas diferentes temperaturas estudada. Observando os coeficientes de determinação (R^2) nas três formulações da umbuzada e para os três congelamentos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 0,66%, para o menor coeficiente, e 0,95%, para o maior coeficiente, e os erros variam numa faixa entre 0,002%, para menor erro, e 0,100%, para o maior erro.

Tabela 3.20 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros percentuais médios (%) do valor calórico das três formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas diferentes temperaturas estudadas

Formulações	Equações	R^2	P (%)
F1	Calorias $_{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 77,2248 - 0,0744.t + 0,0004.t^2$	0,83	0,018
F1	Calorias $_{-170\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 77,3756 - 0,0489.t + 0,0002.t^2$	0,92	0,002
F1	Calorias $_{-196\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 76,8041 - 0,0774.t + 0,0005.t^2$	0,66	0,100
F2	Calorias $_{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 78,4443 - 0,0761.t + 0,0004.t^2$	0,84	0,016
F2	Calorias $_{-170\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 78,0388 - 0,0229.t + 0,0001.t^2$	0,71	0,072
F2	Calorias $_{-196\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 78,2012 - 0,0235.t + 0,0001.t^2$	0,89	0,006
F3	Calorias $_{-20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 80,8686 - 0,076.t + 0,0002.t^2$	0,95	0,009
F3	Calorias $_{-170\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 79,9491 - 0,0685.t + 0,0004.t^2$	0,71	0,073
F3	Calorias $_{-196\text{ }^{\circ}\text{C até } -50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 80,1902 - 0,051.t + 0,0003.t^2$	0,73	0,061

3.4.3 – Análise Microbiológica

Encontra-se na Tabela 3.21, os resultados das análises da determinação de coliformes à 35 °C e 45 °C das três formulações da umbuzada, onde F1 é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2 com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3 com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu congelada e armazenada nas temperaturas de -20 °C, congeladas a -170 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C e congeladas a -196 °C até -50 °C e armazenadas a -50 °C, pelo período de tempo de 120 dias. Os resultados do armazenamento demonstram que os coliformes a 35 °C (totais) e 45 °C (termotolerantes) estiveram presentes nas formulações F1, nos três tipos de congelamento, e F2 no congelamento a -20 °C; enquanto na formulação F3 não foi verificada a presença desses microrganismos nas amostras submetidas aos três tipos de congelamento. FRANCO e LANDGRAF (2008) observaram que, em algumas espécies de microrganismos ocorre a morte durante o congelamento, e no período de armazenamento esta morte pode ocorrer gradualmente.

Tabela 3.21 - Análises microbiológicas das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada congelada nas temperaturas em estudo e armazenada durante 120 dias

Temperatura	Tempo de estocagem	Coliformes totais (NMP/100mL)			Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3
-20 °C	0	9,3	Ausente	Ausente	9,3	Ausente	Ausente
	40	15	15	Ausente	15	15	Ausente
	80	15	15	Ausente	15	15	Ausente
	120	15	15	Ausente	15	15	Ausente
Congelado a -170 °C e armazenado a -50 °C	0	9,3	Ausente	Ausente	9,3	Ausente	Ausente
	40	9,3	Ausente	Ausente	9,3	Ausente	Ausente
	80	9,3	Ausente	Ausente	9,3	Ausente	Ausente
	120	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Congelado a -196 °C e armazenado a -50 °C	0	23	Ausente	Ausente	23	Ausente	Ausente
	40	15	Ausente	Ausente	15	Ausente	Ausente
	80	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	120	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

*Número Mais Provável/100 mL

Os maiores valores de coliformes totais e termotolerantes encontrados para as formulações F1 e F2 foram iguais a 23 NMP/100mL e 15 NMP/100mL, respectivamente, sendo estes valores inferiores quando comparado com a legislação que admite valor máximo de referencia igual 10^2 NMP/100mL para polpa de fruta congelada (BRASIL, 2001) SANTOS *et al.* (2008) estudando a avaliação microbiológica de polpas de frutas congeladas, encontrou resultado positivo para coliformes totais para polpa de açaí com valor máximo de 4×10^1 , estando dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente.

3.4.4 – Análise sensorial

Nas Tabelas 3.22 a 3.24 se encontram as médias e os valores dos coeficientes de concordância (CC) das análises sensoriais, atribuídos pelos 40 provadores quanto aos atributos, cor, aroma e sabor para as três formulações da umbuzada, congelada nas diferentes temperaturas estudadas.

4.4.1 – Cor

Na Tabela 3.22 se encontram os resultados da análise sensorial quanto ao atributo cor, das formulações de umbuzada (F1, F2 e F3) para as diferentes temperaturas de congelamento. Percebe-se

que houve maior preferência dos provadores pelo atributo sensorial cor da formulação F3 da umbuzada nas três temperaturas de congelamento estudadas durante os 120 dias de armazenamento, com médias variando de 3,72 a 4,47, respectivamente; Analisando o coeficiente de concordância, observa-se que mais de 40% dos provadores concordam com essas médias, o que corresponde a “gostei ligeiramente e gostei muito”.

Tabela 3.22– Valores médios do atributo cor e coeficiente de concordância (CC) em percentual para as formulações da umbuzada F1, F2 e F3 congelada a -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C

Temperatura de congelamento	Tempo de armazenamento (dia)	Formulações compostas por extrato de soja, polpa de umbu e rapadura					
		30% de polpa de umbu (F1)		40% de polpa de umbu (F2)		50% de polpa de umbu (F3)	
		Médias	CC%	Médias	CC%	Médias	CC%
-20°C	0	3,80	37,71	3,62	42,39	3,77	33,31
	20	3,27	22,01	4,07	43,12	4,02	37,71
	40	4,10	41,83	3,70	51,08	4,10	42,02
	60	3,90	35,14	3,92	34,68	4,10	40,12
	80	4,12	43,84	4,40	52,29	4,47	61,11
	100	3,95	39,72	4,27	46,27	4,17	44,19
	120	4,05	40,31	4,20	43,12	4,17	43,66
-170 °C	0	3,80	37,71	3,62	42,39	3,72	33,31
	20	3,37	22,70	3,62	33,77	3,47	25,31
	40	4,12	53,47	4,05	40,89	4,15	43,30
	60	3,47	36,23	3,95	35,14	4,15	41,45
	80	4,10	48,57	4,07	41,02	4,25	45,59
	100	3,42	32,36	3,67	28,77	3,97	35,87
	120	3,85	31,83	3,52	27,23	4,00	39,92
-196 °C	0	3,80	37,71	3,62	42,39	3,77	33,31
	20	3,85	37,91	3,80	33,11	3,92	34,68
	40	3,77	32,77	4,12	40,89	4,27	47,27
	60	3,62	29,84	3,85	33,07	4,05	41,39
	80	4,12	57,96	4,32	48,25	4,35	51,54
	100	3,35	39,72	3,55	26,22	4,05	41,39
	120	3,80	36,91	4,05	38,73	4,17	43,84

3.4.4.2 – Aroma

Quanto ao atributo aroma das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada nas três temperaturas estudadas, percebe-se na Tabela 3.23 que foram avaliados igualmente. Quando se analisa o coeficiente de concordância, verifica-se que o maior número de provadores aprova a média 4,37, correspondente ao valor entre “gostei ligeiramente e gostei muito” na escala hedônica de 5 pontos.

Tabela 3.23– Valores médios do atributo aroma e coeficiente de concordância (CC) em percentual para as formulações da umbuzada F1, F2 e F3 congelada a -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C

Temperatura de congelamento	Tempo de armazenamento (dia)	Formulações compostas por extrato de soja, polpa de umbu e rapadura					
		30% de polpa de umbu (F1)		40% de polpa de umbu (F2)		50% de polpa de umbu (F3)	
		Médias	CC%	Médias	CC%	Médias	CC%
-20°C	0	3,70	38,53	3,52	27,67	3,67	33,31
	20	3,62	29,84	3,92	38,93	3,70	25,92
	40	4,07	38,93	3,55	22,36	3,95	35,14
	60	3,62	38,12	3,92	38,53	3,95	34,68
	80	3,92	45,59	3,92	33,77	4,32	50,15
	100	3,60	41,65	3,82	42,39	4,07	41,33
	120	3,92	35,14	4,07	39,53	3,97	41,65
-170 °C	0	3,70	38,53	3,52	27,67	3,67	33,31
	20	3,30	16,68	3,70	38,32	3,47	18,53
	40	3,77	29,04	4,00	38,53	3,90	33,54
	60	3,62	24,92	3,97	41,02	3,70	26,80
	80	3,90	36,23	3,92	45,24	3,90	40,69
	100	3,37	20,92	3,50	19,92	3,65	26,22
	120	3,62	22,36	3,97	35,14	4,07	39,33
-196 °C	0	3,70	38,53	3,52	27,67	3,67	33,31
	20	3,70	29,62	3,77	31,87	3,87	33,77
	40	4,17	43,12	4,17	42,02	4,37	52,29
	60	3,80	33,31	3,72	37,71	4,15	42,02
	80	3,50	38,13	3,92	36,01	3,95	33,77
	100	3,30	31,36	3,55	31,32	4,20	43,30
	120	3,77	32,68	3,82	32,60	4,02	45,24

3.4.4.3 – Sabor

Na Tabela 3.24 percebe-se que há diferença entre a nota 3 e a nota 4, de forma que é possível afirmar que houve maior preferência pelo sabor da formulação F2 da umbuzada congelada a -196 °C até -50 °C, fato confirmado pelo coeficiente de concordância de 79,35%, ou seja, a maioria dos provadores concordam com a média 4,75, correspondente ao valor entre “indiferente” e “gostei ligeiramente” na escala hedônica De acordo com HAULY *et al.* (2005), em produtos derivados de soja, a adstringência e o sabor típico da leguminosa são fatores que limitam sua aceitação, porém nesse trabalho, a quantidade de polpa de umbu utilizada foi o suficiente para mascarar o sabor do extrato de soja, pois o atributo sabor foi o único que obteve os maiores índices de aceitabilidade.

A média em relação ao sabor variou de 3,57 a 4,65 para F1; 3,67 a 4,75 para F2 e 3,52 a 4,50 para F3, ficando entre “indiferente” e “gostei ligeiramente” na escala utilizada. SANTOS *et al.* (2008) estudando o desenvolvimento de uma bebida láctea fermentada à base de soro de queijo mussarela e polpa de umbu, verificaram que as formulações A (20% de soro), B (40% de soro) e C (60% de soro) situaram-se entre os termos hedônicos “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente, enquanto a formulação D (80 de soro) se situa entre os termos “indiferente” e “gostei ligeiramente” para o atributo sabor.

MERCALDI (2006), ao realizar análise sensorial em bebidas a base de extrato de soja acrescida de suco de graviola, observou que a adição do suco de fruta ao extrato de soja melhorou a aceitação da bebida, fato evidenciado pelas melhores respostas às amostras que continham maiores teores de ácido cítrico proveniente do suco concentrado de graviola.

Tabela 3.24– Valores médios do atributo sabor e coeficiente de concordância (CC) em percentual para as formulações da umbuzada F1, F2 e F3 congelada a -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C

Temperatura de congelamento	Tempo de armazenamento (dia)	Formulações compostas por extrato de soja, polpa de umbu e rapadura					
		30% de		40% de		50% de	
		polpa de		polpa de		polpa de	
		umbu (F1)	CC%	umbu (F2)	CC%	umbu (F3)	CC%
		Médias		Médias		Médias	
-20°C	0	3,85	37,91	3,67	31,87	3,57	33,68
	20	3,67	27,10	4,00	49,53	3,52	24,22
	40	4,65	72,67	3,95	35,14	4,35	55,20
	60	4,20	47,27	4,57	69,71	4,47	55,76
	80	3,57	30,87	4,50	56,14	4,50	59,56
	100	4,27	32,83	4,20	45,24	4,22	49,84
	120	4,50	53,63	4,57	64,47	4,22	53,76
-170 °C	0	3,85	37,91	3,67	31,87	3,57	33,68
	20	3,65	26,80	3,82	37,71	3,62	27,10
	40	4,15	48,57	4,05	37,91	3,90	39,92
	60	4,05	37,50	4,07	42,94	4,27	49,47
	80	4,15	42,39	4,52	58,50	4,50	60,21
	100	3,90	34,23	4,00	40,89	3,75	27,77
	120	3,97	46,94	3,95	34,23	4,32	52,89
-196 °C	0	3,85	37,91	3,67	31,87	3,57	33,68
	20	3,95	37,91	3,87	32,60	4,15	42,76
	40	4,47	61,62	4,75	79,35	4,32	51,54
	60	4,22	48,57	4,40	56,87	4,37	57,69
	80	3,75	27,10	4,07	39,72	4,30	50,62
	100	3,92	36,87	3,90	38,73	3,92	38,33
	120	3,95	44,72	3,87	38,12	4,12	55,69

3.5 – CONCLUSÕES

- A formulação (F3) da umbuzada congelada a -20 °C congelou mais rapidamente que as formulações F2 e F1, cujos tempos foram iguais 26.700, 27.300 e 31.800 segundos, respectivamente;
- Para da umbuzada congelada a -170 °C até -50 °C o tempo de congelamento das três formulações foi em aproximadamente 720 (F3), 770 (F2) e 970 (F1) segundos, respectivamente, enquanto na temperatura de congelamento a -196 °C até -50 °C os tempos foram 72 (F3), 81 (F2) e 90 (F1) segundos, respectivamente;
- Os valores de difusividade térmica efetiva média das formulações F1, F2 e F3 de polpa de umbu aumentam conforme o método de congelamento empregado; ou seja: congelamento em freezer convencional, congelamento em vapor de nitrogênio e congelamento por imersão em nitrogênio líquido;
- O teor de proteína e de carboidratos das formulações F1, F2 e F3 diminuiu ao longo dos 120 dias de armazenamento nas temperaturas de -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C;
- Os valores médios da acidez total titulável e lipídios das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, aumentaram com o tempo de armazenamento nas temperaturas de -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C. O pH das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada nas temperaturas de congelamento estudadas, diminuiu com o tempo de armazenamento;
- Os valores de cinza das formulações F1, F2 e F3 não sofreu influência dos métodos de congelamento durante o armazenamento;
- O efeito da temperatura de congelamento -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C das formulações F1, F2 e F3 sobre teor de água durante o armazenamento a -20 °C e -50 °C tendeu à diminuição, com o tempo de armazenamento;
- As formulações de umbuzada F1, F2 e F3 congeladas a -196 °C até -50 °C e -170 °C até -50 °C apresentaram as menores variações do valor calórico das três formulações após os 20 dias de armazenamento;
- As formulações F1, F2 e F3 congelada nas temperaturas em estudo -20 °C, a -170 °C até -50 °C e a -196 °C até -50 °C e armazenadas, durante 120 dias, estão dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira vigente para a polpa de fruta congelada;
- As formulações F2 e F3 foram as que obtiveram os maiores valores dos coeficientes de concordância com relação aos atributos cor, aroma e sabor.

3.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, N. G. **Secagem e liofilização de manga: Características físico-químicas e sensoriais**. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande.

ARAÚJO, M. S. O. **Avaliação as características Físico-químicas e Sensoriais de Polpas de Acerola (Malpighia emarginata D.C) Submetidas a Diferentes Técnicas de Congelamento**. 2000, 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande-PB.

ARÉVALO-PINEDO A.; MACIEL, V. B. V.; CARVALHO, K. M.; COELHO, A. F. S.; GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; ARÉVALO, Z. D. S.; ALVIM, T. C. Processamento e estudo da estabilidade de pasta de pequi (*Caryocar brasiliense*) **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.3, p. 664-668, 2010.

AQUINO, A. C. M. S.; CARNELOSSI, M. A. G.; CASTRO, A. A. Estabilidade do ácido ascórbico e dos pigmentos da polpa de acerola congelada por métodos convencional e criogênico. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.29, n.1, p.147-156, 2011.

BEVILACQUA, M.; D'AMORE, A.; POLONARA, F. A multi-criteria decision apoach to choosing the optional blanching-freezing system. **Journal of Food Engineering**, v.63, p.253-263, 2004.

BRUNINI, M. A.; OLIVEIRA, A. L.; VARANDA, D. B. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba 'Paluma' armazenada a – 20°C, **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.25, n.3, p.394-396, 2003.

BUGGENHOUT, S. V.; MESSAGIE, V. MAES, T.; DUVETTER, A.; VAN LOEY.; HENDRICKX, M. Minimizing texture loss of frozen strawberries: effect of infusion with pectinmethylesterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions. **Eur Food Res Technol**, v. 223, p.395- 404, 2002.

CASTRO, A. A. **Propriedades térmicas, qualidade e armazenabilidade de camarão (*Litopenaeus vannamei*, Boone) congelados em temperaturas criogênicas**. 2004. 222f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ANSELMO, G. C.; RODRIGUES, A. E.; GUEDES, M. A.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. A. Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, p.165-172, 2005.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Tecnologia de crioconservação de sementes de urucum. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.2, n.1, p.1-9, 2008.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, MARTINS, M. E.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.5, n. Especial, p.53-60, 2003.

CHEVALIER, D.; SENTISSI, M.; HAVET, M.; BAIL A. L. Comparison of air-blast and pressure shift freezing on norway lobster quality. **Journal of Food Science**, v.65, n.2, 2000.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças, fisiologia e manuseio**. 2^a ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CIABOTTI, E. D.; **Alterações das propriedades físico-químicas do suco de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg.) para diferentes técnicas de congelamento inicial, ao longo do período da armazenagem frigorificada**. 2000. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNANDEZ C. **Congelamento e descongelamento: sua influência sobre os alimentos**. UFRG – RS. 13: p. 53-66. 2003.

COX, P. M. **Ultracongelacion de alimentos: guia de la teoria y práctica**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1987. 459p.

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion**. Pergamon Press, 2ª Ed. Oxford, 1975, 421p.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

DELGADO, A. E.; RUBIOLO, A. C. Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.38, n.2, p.135-142, 2005.

SILVA, J. B.; PRUDÊNCIO, S. H.; FELBERG, I.; DELIZA, R.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. Aceitabilidade de bebidas preparadas a partir de diferentes extratos hidrossolúveis de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.12, p.1779-1784, 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos princípios e prática**. 2ª ed. Porto Alegre, 2006.602p.

FERREIRA, J. C., **Efeito do congelamento ultra-rápido sobre as características físico-químicas e sensoriais de polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) durante a armazenagem frigorífica**. 2000. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

FERREIRA, J. C.; MELO, J. C. S.; GOMES, W. C.; LIMA, F. C. S.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Cinética de congelamento do extrato de soja modificado com polpa de cajá (*Spondias lútea* L.) sobre baixas temperaturas**. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2010, foz de Iguaçu, PR.

FERNÁNDEZ, P. P. et al. Effects of locust bean, xanthan and guar gums on the ice crystals of a sucrose solution frozen at high pressure. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 4, p. 507-515, 2007.

FRANÇA, J. A. **Cinética de congelamento, análise físico-química e sensorial do leite de cabra armazenado em diferentes temperaturas**. 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos** – São Paulo: Editora Atheneu, 2008. 307p.

GONÇALVES, A. A. **Estudo do processo de congelamento de camarão associado ao uso do aditivo fosfato**. 2005, 170f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GRANATO, D.; MASSON, M. L.; FREITAS, R. J. S. Estudos de estabilidade e estimativa de vida de prateleira de sobremesa à base de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.30, n.3, p.797-807, 2010.

HAULY, M. C. O.; FUCHS, R. H. B.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H. Suplementação de iogurte de soja com frutooligossacarídeos: características probióticas e aceitabilidade **Revista Nutrição**, Campinas, v.18, n.5, p.613-622, 2005

HUAN, Z.; HE, S.; MA, Y. Numerical simulation and analysis for quick-frozen food processing. **Journal of Food Engineering**, v.60, p.267-273, 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo. 4ª edição, 2005. 1032p.

KASAHARA, G. I.; GARRIDO, B. F.; SIMPSON, R. R.; ALDUNATE, M. M. I.; CORNEJO, F. F. **Refrigeracion y congelacion de alimentos**. Chile: Editora e Imprenta Maval, 1986. 132p.

KONDRATOWICZ, J.; MATUSEVICIUS, P. Use of low temperatures for food preservation. **Veterinarija ir Zootechnika**, v.17, n.39, 2002.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711p.

LEDERMAN, I. E.; JÚNIOR, J. S. de LIRA.; JÚNIOR, J. F. da SILVA. **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. 2008. 180p.

LI, B.; SUN, DA-WEN. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods - a review. **Journal of Food Engineering**, v.54, p.175-182, 2002.

LIMA, J. P. R.; CAVALCANTI, C. M. L. Do Engenho Para o Mundo? A Produção de Rapadura no Nordeste: Características, Perspectivas e Indicação de Políticas. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.32, n.4, p.950-974, 2001.

LOPES, A. S.; MATTIETTO, R. A.; MENEZES, H. C. Estabilidade da polpa de pitanga sob congelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.25, n.3, p.553-559. 2005.

MARTINS, M. L. A.; BORGES, S. V.; DELIZA, R.; TRAVASSOS, F.; CAVALCANTE, N. B. Características de doce em massa de umbu verde e maduro e aceitação pelos consumidores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.9, p.1329-1333. 2007.

MATUDA, T. G.; **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento, otimização do uso de aditivos**. 2004, 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, S. S. A. **Obtenção de pó de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) para umbuzada: processamento e caracterização do pó**. 2004. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Campina Grande-PB.

MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J.; GARCÍA-CORTES, Y. M. Y. Variaciones del contenido de humedad por efecto de congelado a temperaturas de criogenia. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v.7, n.2, p.139-144, 2008.

MERCALDI, J. C. **Desenvolvimento de bebida a base de “leite” de soja acrescida de suco de graviola**. 2006. 61f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) Universidade Federal Paulista, Araraquara, SP.

MONTEIRO FILHO, A. F. **Congelamento inicial da carne suína a baixas temperaturas e posterior armazenagem a -30 °C: alterações das características físicas e organolépticas**. 2001, 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Paraíba.

MOTA, R. V.; Caracterização do suco de amora-preta elaborado em extrator caseiro, **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2, p.303-308, 2006.

MÜRMAN, L.; MALLMANN, C. A.; DILKIN, P. Temperaturas de armazenamento de alimentos em estabelecimentos comerciais na cidade de Santa Maria, RS. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.33, n.3, p.309-313, 2005.

NASCIMENTO, M. A. G. **Obtenção do leite de cabra em pó com diferentes concentrações de polpa de cajá**. 2009. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e tecnologia de alimentos**. São Paulo, 2006. 605p.

OLIVEIRA, J. C.; NASCIMENTO, R. de J.; BRITO, W. S. F. Custos da cadeia produtiva da rapadura: estudo realizado no Vale do São Francisco. **Custos e Agronegócios**, v. 3 – Edição Especial. 2001.

OLIVEIRA, M. C.; ARAÚJO, N. K. S.; CASTRO, A. A. Estudo do efeito de temperaturas de congelamento e criocongelamento na estrutura física dos camarões (*Litopenaeus Vannamei* Boone) comercializados nos supermercados da cidade de Aracaju-SE. **Scientia Plena**, v.7, n.5, 2011.

ORDONEZ, J. A. **Tecnología de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. R. **Ciência higiene e tecnologia da carne**, v.1. Goiânia: Ed. da UFG, 2006.

PÊ, P. R.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Estudo da cinética de congelamento da polpa de umbu concentrada quando submetida a diferentes temperaturas de congelamento e níveis de sólidos solúveis. **III CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFPB**, jun. 2004.

PINTO, P. R.; BORGES, S. V.; CAVALCANTI, N. B.; OLIVEIRA, V. M.; DELIZA, R. Efeito do processamento de doce de massa de umbu verde e maduro sobre sua composição e aceitação. **Revista Alimento e Nutrição**, v.12. p.45-53. 2001.

SANTOS, C. A. A.; COELHO, A. F. S.; CARREIRO, S. C. Avaliação microbiológica de polpas de frutas congeladas, **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.4, p.913-915, 2008.

SEBASTIANY, E.; MOURA, E. R.; RÊGO, E. R.; VITAL, M. J. S. Perda de vitamina C durante o armazenamento de polpa de acerola congelada. **Boletim do Centro de Pesquisa do Paraná**, Curitiba, v.27, n.2. 2009.

SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. A New Verson of the Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...**Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

TAVARES, J. T. Q.; SANTOS, C. M. G. TEIXEIRA, L. J.; SANTANA, R. S.; PORTUGAL, A. M Estabilidade do ácido ascórbico em polpa de acerola submetida a diferentes tratamentos. **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v.15, n.2, 2003.

THIELMANN, C. **Microbiologia do leite e derivados: aspectos teóricos e métodos analíticos**, Juiz de Fora, 2004, 148p.

TORRES-PENARANDA, A. V.; REITMEIER, C. A. Sensory descriptive analysis of soymilk. **Journal of Food Science**, v.66, p.352-356, 2001.

Capítulo 4

**Obtenção de umbuzada em pó pelo processo
de liofilização: características físico-químicas
e sensoriais**

4.1 – INTRODUÇÃO

A tecnologia de alimentos é uma ciência mais antiga do que a nutrição. Quando no início do século passado já se iniciava a técnica de enlatar os alimentos, nada se sabia a respeito dos efeitos dos alimentos na saúde do homem.

O principal objetivo da tecnologia de alimentos, que se destaca sobre os demais, é garantir o abastecimento de alimentos nutritivos e saudáveis para o homem que, como animal heterótrofo, necessita suprir suas necessidades energéticas e plásticas mediante o consumo de diversos produtos precedentes dos reinos animal, vegetal e mineral. A grande maioria dos produtos procedentes dos dois primeiros reinos é altamente perecível, em particular os de origem animal e, por isso, sua vida útil é extremamente curta, porém, o homem precisa alimentar-se diariamente e vários dos alimentos que consome são produzidos sazonalmente e, com frequência, em pontos muito distantes dos locais de consumo. Assim, o abastecimento regular dos alimentos requer seu armazenamento e transporte, operações que demandam certo tempo, durante o qual os alimentos ficam expostos à ação deletérica de todos os tipos de agentes alterantes. O objetivo primordial da tecnologia de alimentos, ou seja, controlar os agentes alterantes para atingir aumento suficiente da vida útil dos alimentos (ORDÓÑEZ, 2005).

Sabe-se, desde a antiguidade, que os alimentos com maior teor de água são mais perecíveis, se estragam com muita facilidade, de maneira que o controle do teor de água do produto tem sido uma ferramenta para sua conservação (WELTI e VERGERA, 1997). Surge então o interesse em desenvolver processos para os quais é imprescindível encontrar alternativas de preservação, a fim de controlar o teor de água que produza a instabilidade tanto química quanto biológica, do alimento que possibilite a melhor e mais prolongada forma de armazenagem. Deste modo, é possível diminuir as perdas e facultar o fornecimento de produtos diversificados ao mercado consumidor visando manter, o máximo possível, suas propriedades organolépticas.

Uma das técnicas mais utilizadas desde os tempos imemoriais para preservação de alimentos corresponde à secagem visto que, mediante eliminação da água dos produtos, reduz os processos metabólicos indesejáveis, como a deterioração.

Os processos de secagem se baseiam, sobretudo, na eliminação da água presente nos produtos por evaporação. Reduz-se o teor de água obtendo-se o resultado desejado da perda de peso e preservação. Ao se eliminar a água líquida, esta arrasta vários componentes que nele se encontram dissolvidos, como são os pigmentos, vitaminas e substâncias aromáticas. A

saída forçada da água rompe a estrutura, ocasionando variação do volume. O produto seco não tem as mesmas características organolépticas do produto original e sua hidratação não permite recuperar aparência inicial. Segundo FIOREZE (2004) secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material envolvendo exclusivamente a transferência de calor e massa.

Liofilização é um processo de secagem que consiste na remoção da água por sublimação. A água, ou a substância aquosa, é removida como vapor da substância congelada, ou seja, passa da fase sólida direto para a fase de vapor. Para isso, faz-se necessário que a zona da temperatura de sublimação seja abaixo do ponto triplo (AGRA, 2006). O ponto triplo da água ocorre a 639,95 Pa e 273,15 K. A água ou solução aquosa existente no produto que se pretende sublimar, deve estar na fase sólida, a maioria dos liofilizadores trabalha com temperatura de -10 °C ou a uma pressão absoluta de aproximadamente 266,65 Pa (BOSS, 2004).

Conforme GARCIA-PASCUAL *et al.* (2006) em razão da ausência de água líquida e das baixas temperaturas requeridas no processo, o encolhimento e a migração de sólidos solúveis no interior do material são minimizados, a estrutura porosa do material seco facilita a rápida reidratação de componentes aromáticos voláteis de que é favorecida e as reações degradativas são minimizadas.

Entre os alimentos vegetais e animais que melhor se adaptam à liofilização, se encontram: abacaxi, maracujá, morango, banana (exceto a variedade d'água ou nanica), suco de frutas, coco, legumes diversos, cogumelo, milho, alho, cebola, leite, ovo (clara ou gema), peixe, camarão, carnes, extrato de cafés e também preparação de sopas e café com leite, entre outros (VIANNA *et al.*, 2006).

4.1.1 – Objetivo

- a) Estudar a cinética de secagem por liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada (formulação F1: é composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2: 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e F3: 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu), tornando o produto em pó.
- b) Determinar experimentalmente as curvas de secagem por liofilização e estudar o modelo que melhor representa a cinética de liofilização.
- c) Avaliar as características físico-químicas (proteína bruta, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico) das três formulações da umbuzada liofilizada;
- d) Avaliar as características sensoriais (cor, aroma e sabor) das três formulações da umbuzada em pó, reconstituída como umbuzada.

4.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1 – Liofilização

A liofilização constitui um processo de desidratação em que a água do produto, submetida ao prévio congelamento, passa diretamente do estado sólido para o gasoso (sublimação) em condições especiais de temperatura e pressão. Para que esta ocorra, é necessário que a pressão de vapor e a temperatura da camada de gelo sublimável estejam abaixo do ponto triplice da água. O vapor liberado pela sublimação é captado pelo condensador, que deve estar a uma temperatura mais baixa do que o produto a ser liofilizado (ALVES, 2007).

De acordo com KOROISHI (2005) a liofilização ocorre a baixa temperatura e há uma rápida transição de material hidratado para desidratado. Esta rápida transição minimiza várias reações de degradação que ocorrem durante a secagem, como reação de Maillard, desnaturação de proteínas e reações enzimáticas. As baixas temperaturas envolvidas ajudam a minimizar essas reações e reduzir taxas de transporte, em que se perde o sabor e o aroma por volatilidade.

Conforme ALVES (2007) a liofilização tem, como objetivo, estabilizar alimentos por meio das múltiplas operações às quais o material é submetido durante as operações de congelamento, sublimação e secagem a vácuo, além do armazenamento do material seco, sob condições controladas. Desta forma se obtêm produtos da mais alta qualidade de reconstituição instantânea e que possuem longa vida de prateleira.

A liofilização é calculada em 5 a 10 vezes mais cara do que os processos de desidratação convencional e por isto é utilizada em vários países, em alimentos de custo mais elevado, tais como o café, cogumelos e camarões (PINHO, 2009).

Qualquer novo melhoramento para liofilização a vácuo a fim de reduzir custos de energia, deveria ser direcionado para os seguintes objetivos: (a) melhorar a taxa de transferência de calor visando ajudar a sublimação; (b) reduzir o tempo de secagem, com o objetivo de reduzir o vácuo e (c) reduzir o uso de condensadores (RATTI, 2001).

4.2.1.1 – Fundamentos físicos da liofilização

O diagrama das fases da água Figura 4.1, é uma representação gráfica das propriedades da água, em termos de duas variáveis intensivas, pressão e temperatura. O diagrama representa as regiões onde as fases sólida, líquida e vapor estão presentes. A interseção das três linhas ocorre a uma temperatura de $0,0098\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pressão de $4,58\text{ mmHg}$, chamado ponto triplo. Neste ponto as três fases da água coexistem se fornecer calor a um material em condições abaixo do ponto triplo, a água contida neste produto passará diretamente do estado sólido ao de vapor, sublimando-o. É nessas condições que se dá a liofilização, porém convém mencionar que no processo de liofilização a temperatura do produto congelado deve ser mantida bem abaixo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ROCHA, 2010).

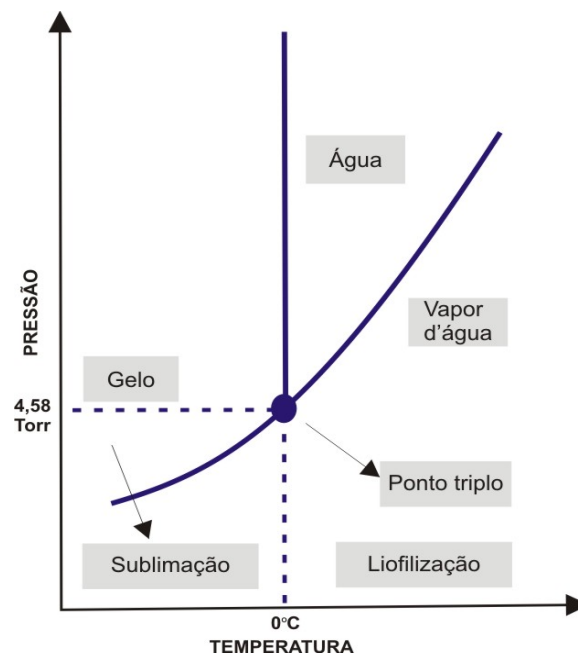


Figura 4.1 – Diagrama de fases da água mostrando a sublimação do gelo

De acordo com BIANCHI (2000) a liofilização consiste em uma operação na qual a água é removida do alimento por transferência do estado sólido (gelo) para o estado gasoso (vapor de água). Esta transformação (sublimação) consiste na secagem primária com remoção da água congelada e ocorre quando a pressão e a temperatura da superfície do gelo, em que ocorre a sublimação, são inferiores aquelas do ponto tríplice.

Conforme GEORGE e DATTA (2002), a força motriz da pressão de vapor é muito baixa comparada com processos convencionais de secagem, que torna o tempo de secagem mais longo, resultando em um custo relativamente alto.

4.2.1.2 – Estágio de congelamento

O congelamento tem como objetivo transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases: uma constituída por cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. O congelamento pode ser feito em um congelador à parte ou no mesmo recinto do liofilizador. O tipo e a velocidade de congelamento têm grande influência na estrutura final do produto e a distribuição dos poros depende do tamanho e da localização dos cristais de gelo formado (ORDÓÑEZ, 2005).

O primeiro estágio da liofilização é congelar o alimento em equipamentos de congelamento convencional. Pequenos pedaços do alimento são congelados rapidamente para produzir pequenos cristais de gelo e reduzir os danos à estrutura celular do alimento. Em alimentos líquidos o congelamento lento é usado para formar uma rede de cristais de gelo que originam canais para o movimento do vapor d'água (FELLOWS, 2006).

De acordo com ORDÓÑEZ (2005) para a liofilização de líquidos se promove o congelamento lento, de modo que o tamanho dos cristais de gelo seja grande e se forme uma rede cristalina desta forma, a estrutura porosa facilitará tanto o escape do vapor d'água durante a liofilização como sua posterior reidratação. Em alguns líquidos, o movimento do vapor d'água é difícil porque, ao se congelarem, eles adquirem estrutura vítrea, como nos sucos de frutas com elevado conteúdo de açúcares. Neste tipo de produto é forçoso formar canais por onde o vapor d'água possa escapar, seja congelando-os em forma de espuma, misturando-se com sólidos, ou os triturando após seu congelamento.

Segundo NASCIMENTO (2009), o congelamento tem como objetivo transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases; cristais de gelo e uma solução concentrada do soluto e é determinante para a estrutura final do produto, em que o tamanho e a localização dos cristais de gelo formados nesta etapa irão definir a distribuição dos poros que, de acordo com sua estrutura, determina a velocidade de escape do vapor durante a sublimação.

4.2.1.3 – Estágio de secagem primária

O objetivo da secagem primária é encontrar as condições de operação que maximizem a duração deste período, ou seja, a maximização da quantidade de água removida. A forma dos poros e a temperatura em todos os pontos não podem ser medidas durante o estágio primário. Além disso, é extremamente difícil medir, com exatidão, a distribuição de temperatura no espaço multidimensional na camada seca do produto. No entanto modelos teóricos dinâmicos avançados podem fornecer informações quantitativas sobre o comportamento dinâmico dos parâmetros e variáveis que determinam a estrutura e a estabilidade química das camadas seca e congelada do produto e duração da taxa de secagem primária (BOSS, 2004).

4.2.1.4 – Estágio de secagem secundária

Secagem secundária ou dessorção. Depois de eliminado todo o gelo do alimento, ele continua retendo certa quantidade de água líquida. Para obter um produto estável, o teor de água deve ser reduzido à percentagem de 2 a 8%, correspondente à água fortemente ligada, por evaporação ou dessorção (ORDÓÑEZ, 2005).

Durante o estágio de secagem secundária o solvente é removido da câmara e uma pequena quantidade de água absorvida pode ser removida por dessorção (BOSS et al., 2004). Consideram-se características críticas do processo, durante a secagem secundária, os valores das temperaturas e da água no espaço multidimensional ocupado pelo produto e a duração do estágio secundário.

O objetivo no estágio de secagem secundária é encontrar as condições de operação do liofilizador que minimizam a duração deste estágio sem perdas da estabilidade estrutural e química do produto durante a secagem e estabeleçam, no final deste estágio, um perfil de concentração desejável da água residual (KOROISHI, 2005).

As descrições sobre proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico, são as mesmas para a umbuzada em pó obtida pelo processo de liofilização, como descritas no Capítulo 1.

4.2.2 – Cinética de liofilização

Vários modelos matemáticos são utilizados para representação do comportamento da secagem de produtos agrícola e podem ser classificados em: teóricos, empíricos e semi-empíricos.

Na cinética de liofilização foi adotada a equação semelhante à de Page para secagem de grãos, com o diferencial de que a água evaporada que sai da matriz sólida (produto congelado) o faz por sublimação e A_2 é a correção do tempo, sendo este um fator potencial.

4.2.2.1 – Modelo I de Cavalcanti Mata para liofilização

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \text{Exp} \left[A_1 \cdot t^{A_2} \right] \quad (4.1)$$

em que,

$$A_1 - (\sigma/L^2)$$

σ – Coeficiente de sublimação do líquido, m^2/s

L – metade da espessura da camada, m

X – teor de água inicial; decimal, base seca

X_t – teor de água no instante t; decimal, base seca

X_e – teor de água de equilíbrio; decimal, base seca

4.2.2.2 – Modelo II de Cavalcanti Mata para liofilização

A segunda equação proposta por Cavalcanti Mata para expressar a cinética de liofilização é uma equação empírica derivada da proposta pelo autor para secagem de grãos. Neste caso, o coeficiente de sublimação da água é dado por A_2 e os coeficientes A_1 , A_4 e A_6 devem satisfazer a igualdade. Este modelo foi utilizado com êxito por NASCIMENTO (2009) obtendo coeficientes de determinação superiores a 0,99, no estudo da cinética de liofilização do leite de cabra integral pasteurizado com diferentes concentrações de polpa de cajá.

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = A_1 \exp(A_2 \cdot t^{A_3}) + A_4 \exp(A_2 \cdot t^{A_5}) + A_6 \quad (4.2)$$

em que,

$$A_1 + A_4 + A_6 = 1$$

$$A_2 = (\sigma/L^2)$$

4.2.2.3 – Modelo de Midilli *et al.*

O modelo semi-empírico de Midilli *et al.* é um modelo bastante utilizado na determinação do comportamento das curvas de secagem é uma simplificação do modelo teórico de Fick, o qual foi obtido experimentalmente no estudo da secagem de cogumelos, pólen e pistache (MIDILLI *et al.*, 2002). Este modelo foi utilizado com êxito por vários pesquisadores, obtendo coeficientes de determinação superiores a 0,99, tais como: TOGRUL (2004) no estudo da secagem em camada fina de cenoura; ERTEKIN e YALDIZ (2004) na secagem de berinjela nas temperaturas entre 30 e 70 °C.

$$RX = a \exp(-kt^a) + bt \quad (4.3)$$

em que:

RX - razão de teor de água, adimensional

a,b, k, n – constantes do modelo

t – tempo, min

4.2.2.4 – Modelo de Page

O modelo de Page é um modelo empírico bastante utilizado para a representação da secagem de produtos agrícolas (DOYMAZ *et al.*, 2006). BOZKIR (2006) encontrou, no estudo da secagem de damasco nas temperaturas entre 35 e 50 °C, coeficientes de correlação maiores que 0,98 com o modelo de Page.

$$RX = e^{kt^n} \exp(-kt^N) \quad (4.4)$$

em que:

RX - razão do teor de água, adimensional

k, n - constantes do modelo

t – tempo, min

4.2.3 – Características sensoriais

As citações sobre as características sensoriais são as mesmas para umbuzada composta de extrato de soja, polpa de umbu e rapadura, como descritas no Capítulo 1.

4.3 – MATERIAL E MÉTODOS

A desidratação por liofilização foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPPA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

4.3.1 Matéria prima

A matéria prima utilizada foi a umbuzada, com o qual se tinha 3 formulações ou seja, a formulação F1 foi composta de 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu, F2, com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu e a F3, com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu. As amostras se encontram congeladas a -20 °C em freezer a -170 °C (no vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e -196 °C (por imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C.

4.3.2 Cinética de liofilização

O processo de liofilização foi realizado em um liofilizador de bancada da Terroni*Fauvel modelo LB 1500, conforme Figura 4.2. O produto congelado na forma de placa de 10 mm de espessura foi colocado em cada bandeja do equipamento, no total de três bandejas. Para a cinética de liofilização foram utilizados os modelos de Cavalcanti Mata, Midilli et al e Page.



Figura 4.2 – Liofilizador Marca Terroni*Fauvel – LB 1500

O Fluxograma do processo de liofilização utilizado na obtenção da umbuzada em pó, composta com polpa de umbu, extrato de soja e rapadura, encontra-se na Figura 4.3.

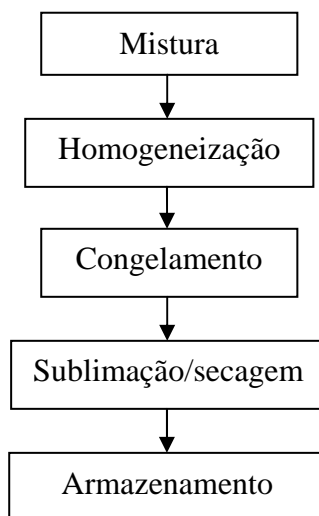


Figura 4.3 – Fluxograma do processo de liofilização

Durante a secagem foram monitorados o tempo de liofilização e o teor de água do produto e a cada 2 horas a câmara foi despressurizada e retirada da bandeja para pesagem até peso constante, finalizando-se o processo. Ao final, o produto foi acondicionado em embalagens metalizadas de polipropileno revestidas internamente com polietileno, de densidade de $75,14 \text{ gm}^{-2}$; as embalagens foram fechadas utilizando-se uma seladora de pedal da marca R. Baião-Selamult – barra quente. A partir dos dados de variação do teor de água com o tempo de liofilização, determinou-se a cinética de liofilização.

4.3.3 – Determinação das características físico-químicas

As características físico-químicas (proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e valor calórico) da umbuzada liofilizada foram determinadas segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

4.3.4 – Análise sensorial

Os procedimentos para realização da análise sensorial da umbuzada em pó reconstituída foram os mesmos como descrito no Capítulo 1, cujos resultados foram processados pelo programa computacional CONSENSOR 1.1.

4.3.5 – Análise dos dados experimentais

Os modelos de Cavalcant Mata, Midilli *et al* e Page, foram aplicados aos dados experimentais por meio do programa computacional Statistica v.5.0. Como critérios de avaliação do modelo que melhor representa o comportamento dos dados experimentais, utilizaram-se o maior coeficiente de determinação (R^2) e o menor erro percentual médio (P).

4.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 – Cinética de liofilização

Os valores experimentais da razão do teor de água (RX) em função do tempo de secagem das três formulações da umbuzada com extrato de soja e rapadura se encontram no (Apêndice D4).

Os pós das formulações compostas de extrato de soja com 30, 40 e 50% de polpa de umbu apresentaram rendimento com valores iguais a 18,8, 19,6 e 20,4%, respectivamente, evidenciando o aumento do rendimento com o acréscimo de polpa de umbu nas formulações. NASCIMENTO (2009) analisando o rendimento dos pós obtidos na secagem do leite de cabra com diferentes concentrações (0, 10, 20, e 30%) de polpa de cajá, obteve os seguintes valores 11,25, 11,60, 12,10 e 12,77%, respectivamente, observando que o aumento da concentração de polpa aumentou o rendimento do produto liofilizado.

Tem-se, nas Figuras 4.4 a 4.6, a influência do tipo de congelamento (-20 °C; -170 °C até -50 °C; e -196 °C até -50 °C) na liofilização das formulações compostas de extrato de soja e diferentes percentuais de polpa de umbu (30, 40 e 50%).

Analisando a Figura 4.4 constatou-se que, praticamente, as temperaturas de congelamento não apresentam influências significativas nas curvas de secagem da formulação da umbuzada composta de 30% de polpa de umbu, o que é observado pela sobreposição da maioria dos pontos das curvas. O mesmo comportamento foi observado por FERREIRA *et al.* (2008) ao estudarem as curvas de liofilização do extrato de soja-cajá congelados nas temperaturas de -129 °C e -29 °C.

Já nas Figuras 4.5 e 4.6, as temperaturas de congelamento apresentaram pequena influência nas curvas de secagem das formulações da umbuzada composta de 40 e 50% de polpa de umbu. MARQUES (2008) estudando a influência do tipo de congelamento na liofilização da acerola e do mamão papaya, percebeu que o teor de água no material liofilizado, cujo congelamento foi com o produto submerso no nitrogênio líquido, foi menor que o teor de água dos outros produtos que usaram o congelamento lento e no vapor do nitrogênio líquido.

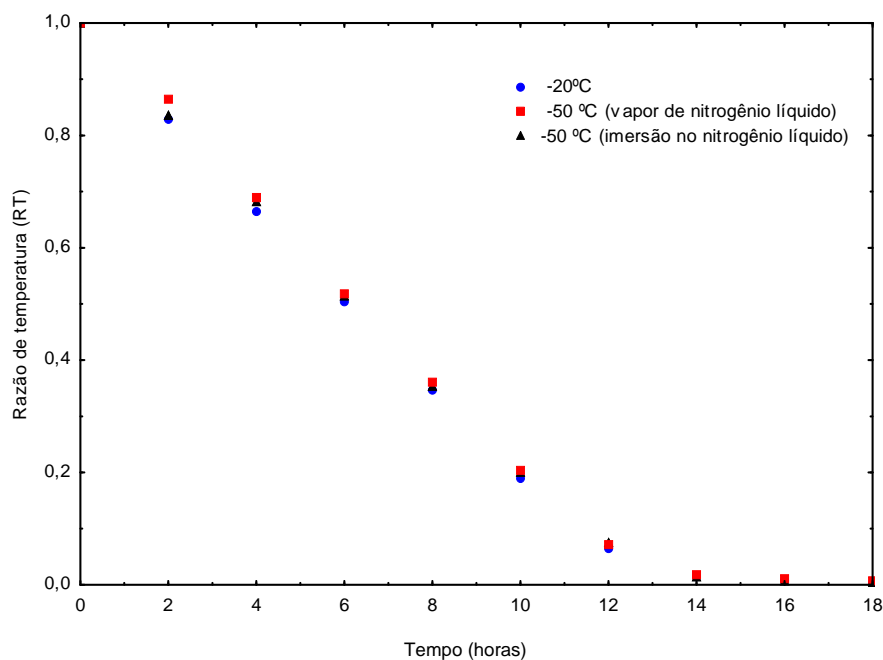


Figura 4.4 – Razão de temperatura (RT) em função do tempo de secagem da formulação F1, com 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu

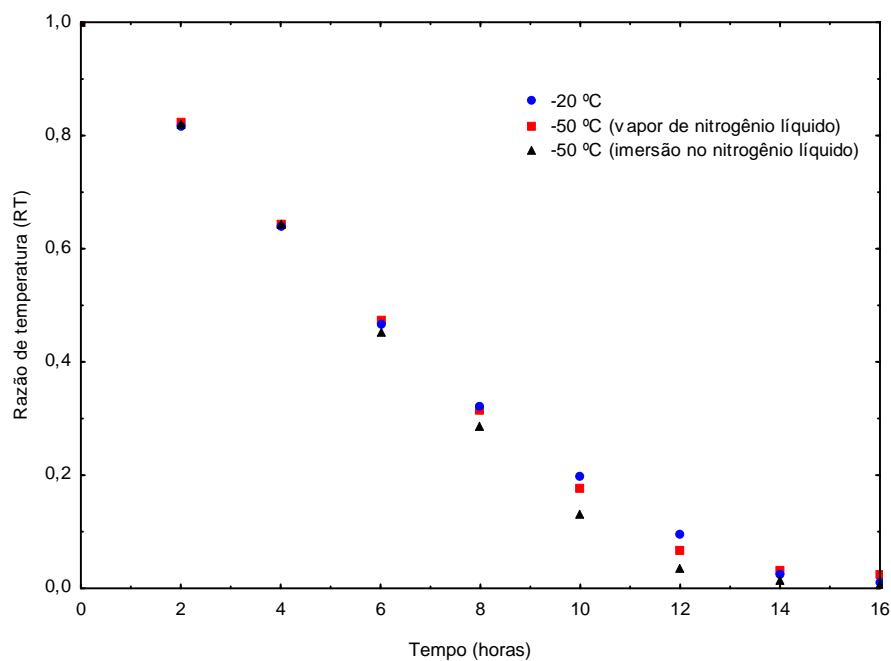


Figura 4.5 – Razão de temperatura (RT) em função do tempo de secagem da formulação F2, com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu

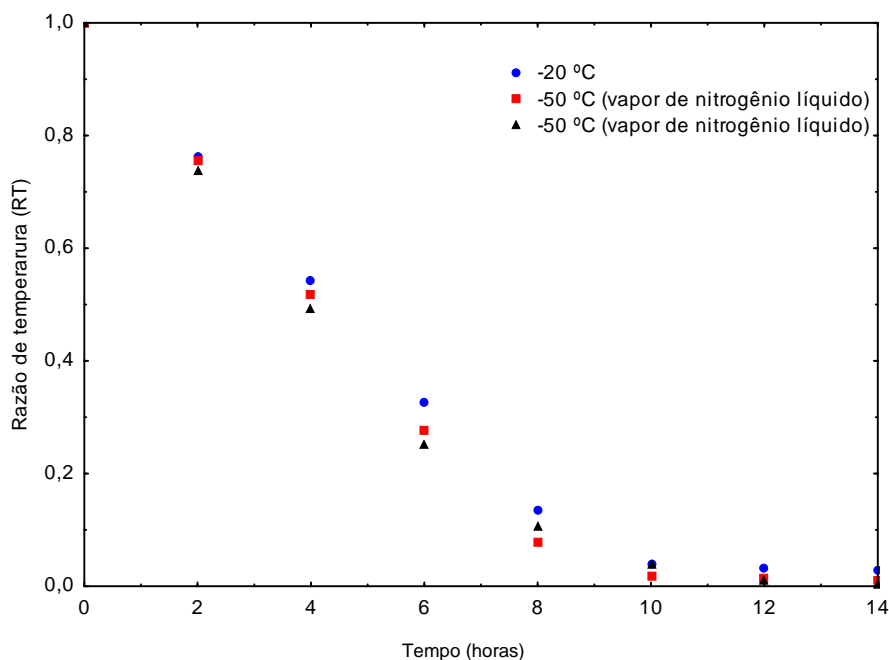


Figura 4.6 – Razão de temperatura (RT) em função do tempo de secagem da formulação F3, com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu

Nas Figuras 4.7 a 4.15 se encontram as curvas de secagem por liofilização das formulações de umbuzada com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, congeladas em diferentes temperaturas (-20 °C, -50 °C no vapor de nitrogênio líquido e a -50 °C imerso no nitrogênio líquido), representadas pelos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli e Kucuk e de Page, respectivamente.

Nota-se, nas Figuras 4.7 a 4.15, e nos diferentes modelos matemáticos, que as curvas de secagem com 30 e 40% de polpa de umbu apresentaram comportamento parecidos mostrando pequena influência do acréscimo da polpa de umbu entre as duas formulações porém, ao comparar as três curvas, percebe-se que a formulação com 50% de polpa de umbu obteve um tempo de secagem mais rápido que as demais, evidenciando a influência do acréscimo da polpa de umbu. O aumento da quantidade de polpa de umbu diminui o tempo de secagem das formulações de umbuzada devido, provavelmente, ao valor do teor de água inicial das formulações (30% com 80,90% bu, 40% com 80,34% bu e 50% com 79,73bu) pois, segundo FIOREZE (2004), quanto maior for o teor de água inicial de um produto maior também será o tempo de secagem deste produto.

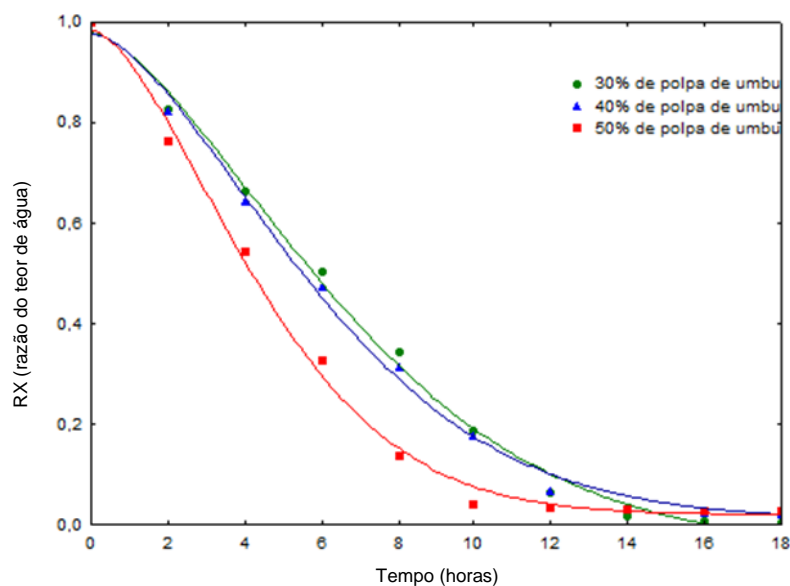


Figura 4.7 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -20 °C, ajustada através do Modelo de Cavalcanti Mata

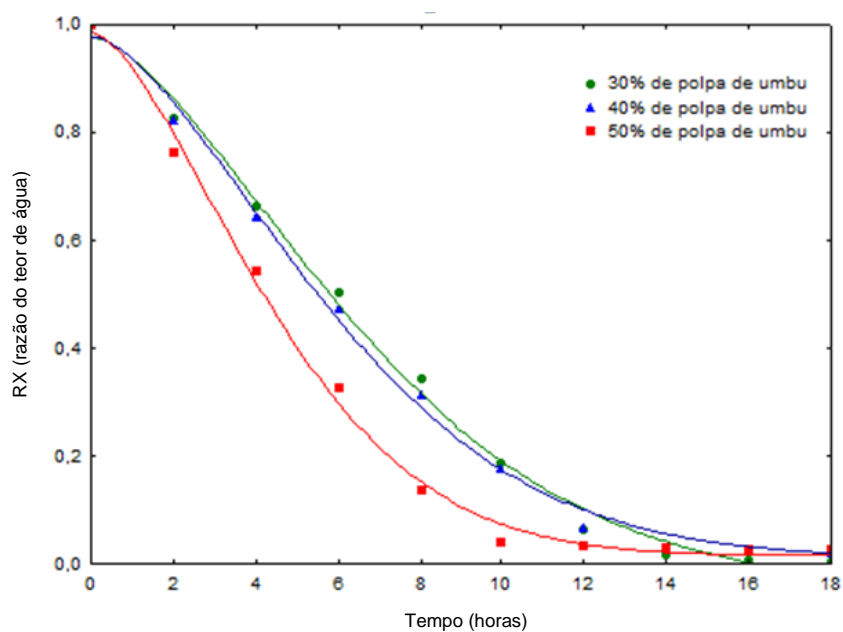


Figura 4.8 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -20 °C e ajustada através do Modelo de Midilli e Kucuk

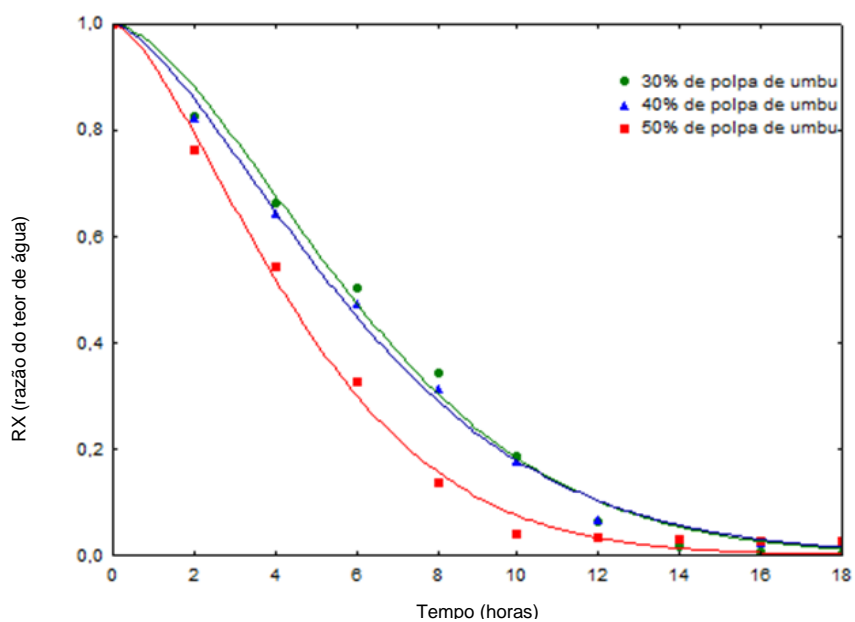


Figura 4.9 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -20 °C, ajustada através do Modelo de Page

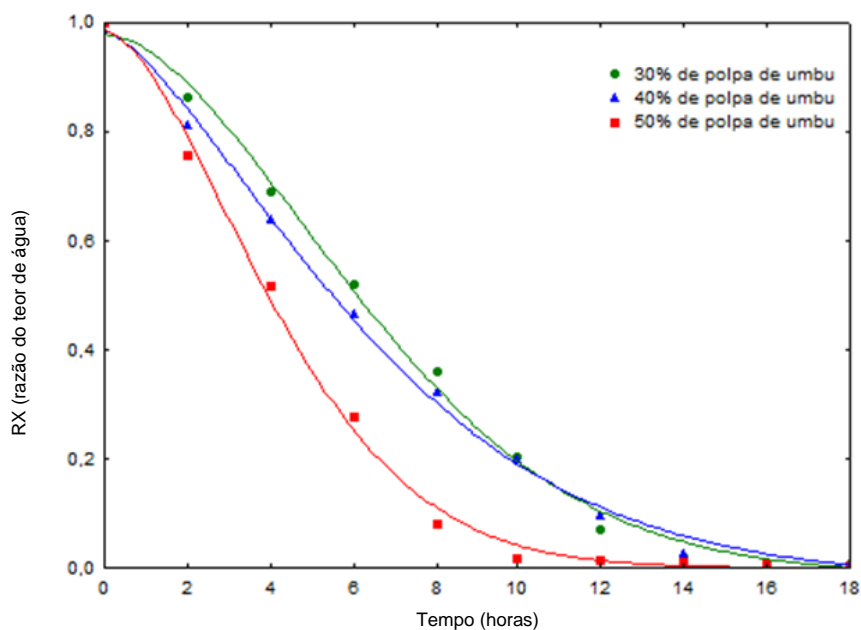


Figura 4.10 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C, ajustada através do Modelo de Cavalcanti Mata

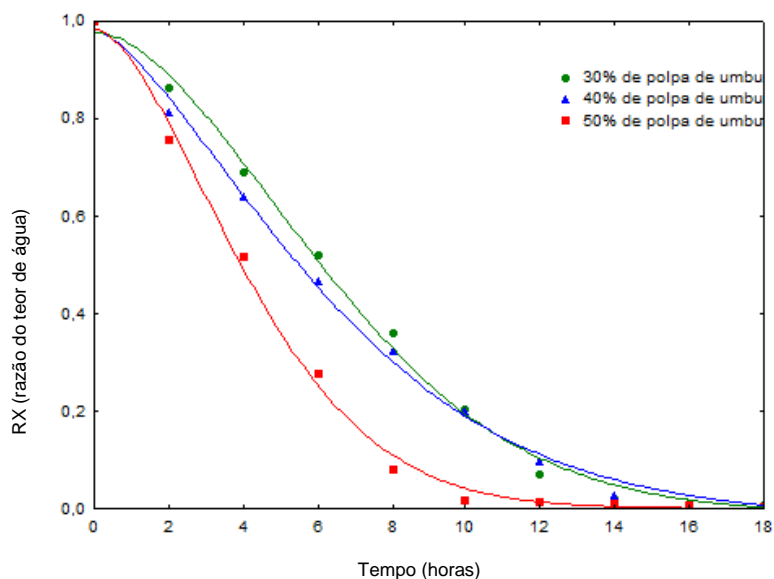


Figura 4.11 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vapor de nitrogênio líquido) até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, ajustada através do Modelo de Midilli e Kucuk

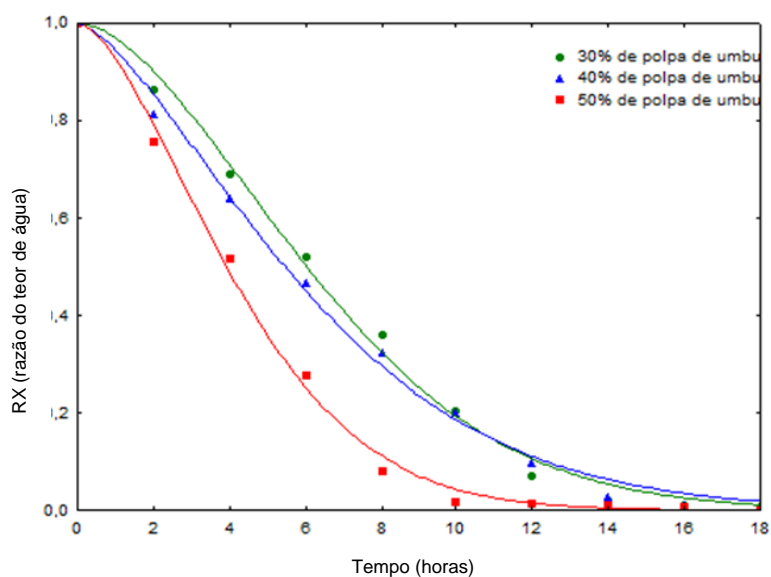


Figura 4.12 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vapor de nitrogênio líquido) até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, ajustada através do Modelo de Page.

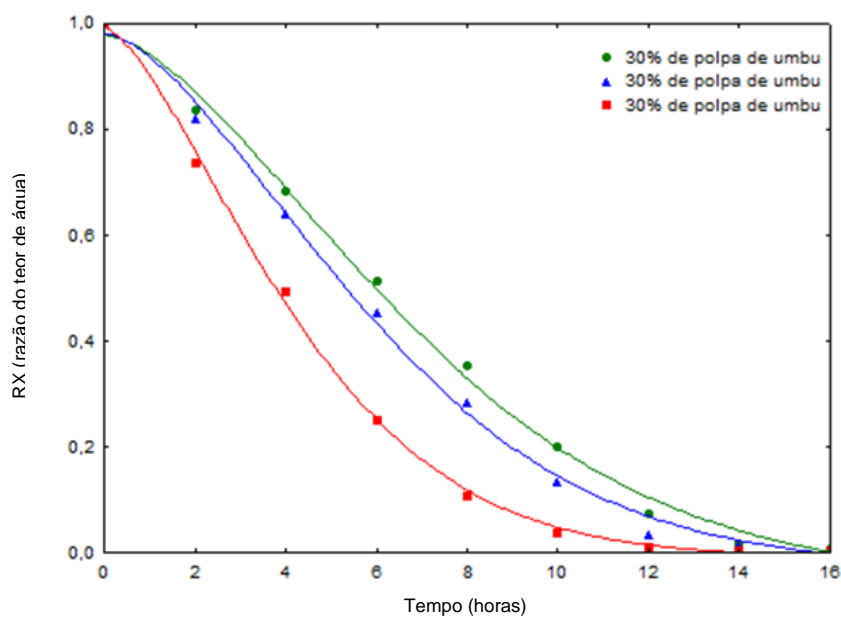


Figura 4.13 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -196°C (imersão de nitrogênio líquido) até -50°C , ajustada através do Modelo de Cavalcanti Mata

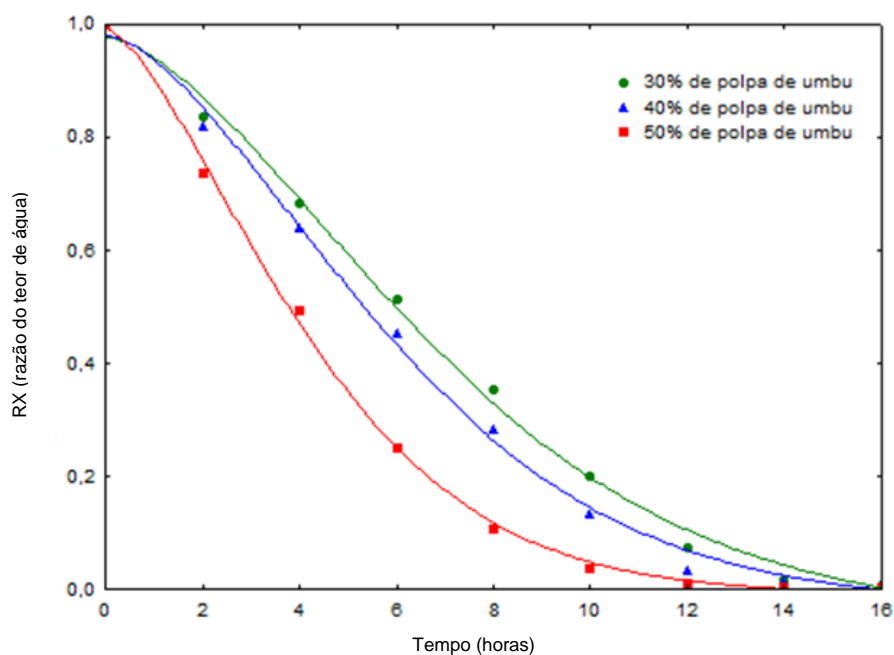


Figura 4.14 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada, congelada a -196°C (imersão de nitrogênio líquido) até -50°C , ajustada através do Modelo de Midilli e Kucuk.

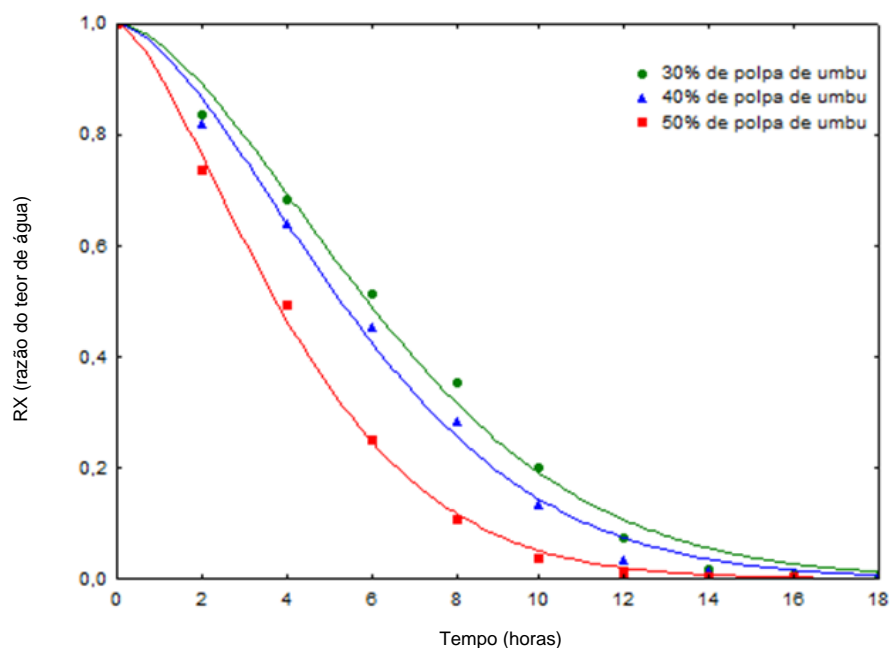


Figura 4.15 – Cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (imersão de nitrogênio líquido) até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, ajustada através do Modelo de Page

Encontram-se, na Tabela 4.1, 4.2 e 4.3, os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli e Kucuk e de Page, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios das curvas de liofilização da umbuzada com diferentes concentrações (30, 40 e 50%) de polpa de umbu submetido a três diferentes tipos de congelamento, a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (no vapor do nitrogênio líquido) e a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (imerso em nitrogênio líquido).

Analisando os coeficientes de determinação e o erro percentual dos modelos matemáticos da Tabela 4.1, percebe-se que todos os três modelos (Cavalcanti Mata, Midilli e Kucuk e Page) utilizados se ajustaram bem aos dados experimentais, haja visto que todos os valores de R^2 foram maiores que 0,99, a Tabela 4.1, que também apresentou o valor de $P > 10\%$; no entanto, dentre esses modelos, o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou menor erro relativo médio. AGRA (2006) percebeu, estudando a secagem de manga por liofilização, que os modelos de Cavalcanti Mata e Page, apresentaram coeficiente de determinação superior a 0,99, sendo também o modelo de Cavalcanti Mata que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Tabela 4.1 – Parâmetros dos modelos matemáticos e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3, da umbuzada congelada a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (freezer)

Formulações	Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R ²	P(%)
	a1	b	a2	a3	a4	a5		
F1	0,5146	0,0414	1,5476	0,5130	1,5476	-0,0488	0,9977	3,45
F2	0,4835	0,0442	1,6048	0,4835	1,6048	0,0106	0,9986	4,44
F3	0,4818	0,0683	1,6220	0,4818	1,6220	0,0199	0,9984	5,95
	Parâmetros do Modelo de Midilli e Kucuk						R ²	P(%)
	a	k	N	b				
F1	0,9774	0,0400	1,5814	-0,0023			0,9976	3,51
F2	0,9782	0,0447	1,5937	0,0005			0,9986	6,57
F3	0,9852	0,0707	1,5862	0,0009			0,9985	6,54
	Parâmetros do Modelo de Page						R ²	P(%)
	k	N						
F1	0,0412	1,6168					0,9964	4,89
F2	0,0536	1,5085					0,9982	6,55
F3	0,0806	1,5083					0,9970	8,57

O mesmo comportamento apresentado pelos parâmetros da Tabela 4.1 foi observado para os parâmetros das Tabelas 4.2 e 4.3, dessa forma, pode-se observar que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais e os modelos se equivalem.

Tabela 4.2 – Parâmetros dos modelos matemáticos e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vapor do nitrogênio líquido) até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Conc. polpa de umbu (%)	Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R ²	P(%)
	a1	b	a2	a3	a4	a5		
F1	0,4953	0,0284	1,7416	0,4953	1,7416	-0,0121	0,9984	3,85
F2	0,5025	0,0562	1,4449	0,5025	1,4449	-0,0205	0,9987	4,77
F3	0,4926	0,0691	1,6628	0,4926	1,6628	-0,0001	0,9985	3,48
	Parâmetros do Modelo de Midilli e Kucuk						R ²	P(%)
	a	k	N	b				
F1	0,9777	0,0278	1,75977	-0,0005			0,9983	5,58
F2	0,9835	0,0551	1,4651	-0,0008			0,9986	4,93
F3	0,9849	0,0689	1,6651	0,0001			0,9984	3,82
	Parâmetros do Modelo de Page						R ²	P(%)
	k	N						
F1	0,0318	1,7144					0,9980	6,31
F2	0,0573	1,4693					0,9982	5,49
F3	0,0751	1,6232					0,9985	4,03

Tabela 4.3 – Parâmetros dos modelos matemáticos e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização das três formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (imersão de nitrogênio líquido) até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Conc. polpa de umbu (%)	Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R ²	P(%)
	a1	b	a2	a3	a4	a5		
F1	0,5142	0,0367	1,5879	0,5142	1,5879	-0,0500	0,9981	3,04
F2	0,5036	0,0455	1,5913	0,5036	1,5913	-0,0259	0,9984	4,51
F3	0,5008	0,0945	1,4846	0,5008	1,4846	-0,0087	0,9993	7,18
Parâmetros do Modelo de Midilli e Kucuk							R ²	P(%)
a	k	N	b					
F1	0,9772	0,0354	1,6227	-0,0024			0,9980	3,17
F2	0,9803	0,0443	1,6156	-0,0013			0,9983	4,56
F3	0,9924	0,0937	1,4955	-0,0005			0,9993	10,35
Parâmetros do Modelo de Page							R ²	P(%)
k	N							
F1	0,0364	1,6590					0,9967	4,76
F2	0,0470	1,6173					0,9977	4,82
F3	0,0953	1,4978					0,9992	8,40

*Conc. Concentração

4.4.2 – Caracterização físico-química das formulações da umbuzada

Na Tabela 4.4 estão os valores da caracterização das formulações (F1, F2 e F3) da umbuzada.

Os valores de proteína das formulações de umbuzada apresentaram tendência de diminuição com o aumento da concentração da polpa de umbu, enquanto os valores de lipídios, pH e teor de água diminuíram significativamente com o aumento da concentração da polpa de umbu. A diminuição dos valores de proteínas, lipídios, pH e teor de água é devida, sem dúvida, à redução da porcentagem do extrato de soja das formulações, pois o mesmo é o responsável pelos maiores percentuais de proteínas (3,30%), lipídios (1,10%), pH (5,77%) e teor de água (93,92%) das formulações, comportamento que foi observado por NASCIMENTO (2009), ao estudar três formulações compostas por leite de cabra e diferentes concentrações de polpa de cajá para os parâmetros proteínas, lipídeos e pH.

Tabela 4.4 – Caracterização das formulações da umbuzada

Parâmetros	Formulações		
	F1	F2	F3
Proteínas (%)	1,98a	1,92a	1,58b
Lipídios (%)	0,61a	0,40b	0,31c
Carboidratos (%)	16,28c	17,19b	17,70a
pH	3,55a	3,19b	2,96c
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	8,89c	11,32b	13,62a
Teor de água (%)	80,90a	80,34b	79,31c
Cinzas (%)	0,48b	0,50b	0,58a
Calorias (kcal/100g)	77,56b	78,30b	80,65a

Já os valores de carboidratos e acidez total titulável (% ácido cítrico) das formulações da umbuzada, aumentaram com o aumento da adição da polpa de umbu, enquanto os valores de cinzas e calorias das formulações F2 e F3 apresentaram tendência de aumentar com o aumento da concentração da polpa de umbu. Este comportamento ocorreu em função da adição da polpa de umbu, que é o componente responsável pela maior contribuição de carboidratos (9,71%), acidez total titulável (3,04% ácido cítrico), cinzas (0,36%) e calorias (42,93%) em relação ao extrato de soja. GOUVEIA *et al.* (2007) observaram, estudando o suco de pinha preparado com diferentes percentagens de leite, que os valores de acidez total titulável e cinzas aumentaram quando adicionadas diferentes proporções de polpa de pinha.

Considerando que não se encontram disponíveis no mercado bebidas que associem a umbuzada, os resultados foram analisados com base nas bebidas que utilizam extrato de soja em associação com suco de frutas, as quais são amplamente comercializadas.

Os valores de proteínas, lipídios, pH, teor de água e cinzas das formulações da umbuzada, estão na mesma faixa de valores determinados por RODRIGUES e MORETTI (2008) em bebida protéica elaborada com extrato de soja e polpa de pêssegos.

FELBERG *et al.* (2004) encontraram, estudando a composição centesimal da bebida mista com soja e castanha-do-brasil, valores semelhantes aos estudados, para proteína e cinzas, enquanto para os carboidratos obtiveram valor inferior. JAEKEL *et al.*

(2007) observaram, estudando a caracterização nutricional do extrato de soja com frutas, valores energéticos bem semelhantes aos da umbuzada.

4.4.3 – Caracterização físico-química da umbuzada liofilizada

Neste item estão relacionados os parâmetros avaliados da caracterização físico-química do pó produzido a partir da umbuzada composta de polpa de umbu extrato de soja e rapadura.

Na Tabela 4.5 Tem-se os valores médios de proteínas totais (%), carboidratos (%), lipídios (%), pH, acidez total titulável (% ácido láctico), cinzas, teor de água (%) e valor calórico (%) das três formulações da umbuzada liofilizada e dos três tipos de congelamento estudados neste trabalho.

Avaliando os dados apresentados na Tabela 4.5, constata-se que, em relação às diferentes formulações da umbuzada e independente dos tipos de congelamento, houve uma alteração significativa dos valores de proteínas totais (%), carboidratos (%), lipídios (%), e calorias (kcal/100g), constatação esta já prevista, uma vez que o produto foi concentrado devido à eliminação parcial da água. Observa-se também, na mesma tabela, que a acidez total titulável foi diminuída, embora não significativamente e o pH e cinzas, praticamente não se alteraram. Os valores médios de proteínas são bem próximos do encontrado por MENAZES *et al* (2008) para a polpa de açaí liofilizada que foi de 8,13%; já para os carboidratos os valores médios encontrados são superiores ao encontrado por LANNES e MEDEIROS (2003), que trabalharam com achocolatado de cupuaçu seco por spray dryer cujo valor foi de 3,22%. O mesmo comportamento foi observado por NASCIMENTO (2009) ao avaliar os parâmetros proteínas, lipídios e pH, enquanto os valores de acidez total titulável (%) e cinzas (%) foram semelhantes aos encontrados por OLIVEIRA *et al.* (2010), quando realizaram a secagem pelo processo de liofilização para a obtenção de ubaia desidratada.

As três formulações da umbuzada apresentaram teor de água inicial de 80,90, 80,34 e 79,31, respectivamente, decrescendo após liofilização. O teor de água das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada congelada a -20 °C foi de 9,50, 9,51 e 8,62%, a -170 °C até -50 C, de 9,79, 9,47 e 8,55% e a -196 °C até -50 C, 9,71, 9,48 e 8,35%, respectivamente. Tais valores estão inferiores ao encontrado por OLIVEIRA *et al.* (2010), quando realizaram a secagem por liofilização para obtenção de ubaia em pó (14,25%) e semelhantes aos encontrados por OLIVEIRA *et al.* (2006), ao determinarem

o teor de água da pitanga em pó desidratada em spray dryer, cujos valores foram de 8,12 e 7,64, respectivamente, e próximos ao valor obtido por JULIANO *et al.* (2002) para a polpa de cupuaçu liofilizada, de 9,47%.

Tabela 4.5 – Caracterização da umbuzada liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento

Parâmetros	Formulações			
	Tipos de Congelamento	F1	F2	F3
Proteínas totais (%)	-20 °C	8,65aA	7,04abB	6,22bC
	-170 °C	8,44bA	7,13aB	6,40aC
	-196 °C	8,52bA	6,97bB	6,01cC
Carboidratos (%)	-20 °C	74,00bA	73,05bB	72,41bB
	-170 °C	74,89aA	74,62aA	74,59aA
	-196 °C	74,84aA	74,67aA	72,78bB
Lípidios (%)	-20 °C	4,41bA	3,66bB	3,00bC
	-170 °C	4,76aA	3,80abB	3,05bC
	-196 °C	4,67aA	3,91aB	3,59aC
pH	-20 °C	3,33bA	3,13bB	2,87bC
	-170 °C	3,43abA	3,12bB	2,94bC
	-196 °C	3,67aA	3,34aB	3,18aB
Acidez total titulável (% ac. cítrico)	-20 °C	2,84cC	4,92cB	5,71cA
	-170 °C	3,81bC	5,00bB	5,86bA
	-196 °C	3,99aC	5,17aB	5,95aA
Cinzas (%)	-20 °C	2,39aB	2,76aA	2,79aA
	-170 °C	2,39aC	2,71bB	2,81aA
	-196 °C	2,36aB	2,66cA	2,67aA
Teor de água (%)	-20 °C	9,50bA	9,51aA	8,62aB
	-170 °C	9,79aA	9,47aB	8,55aC
	-196 °C	9,71aA	9,48aA	8,35aB
Calorias (kcal/100g)	-20 °C	366,5bA	357,1bB	341,5cC
	-170 °C	375,1aA	362,3aB	354,0bC
	-196 °C	366,9bA	362,4aB	355,2aC

Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

4.4.4 – Análise sensorial

Na Tabela 4.6 se encontram as médias e os valores dos coeficientes de concordância das análises sensoriais, quanto aos atributos aroma, cor e sabor, atribuídos pelos provadores aos pós das formulações de umbuzada (F1, F2 e F3) para as diferentes temperaturas de congelamento a -20 °C, -170 °C até -50 °C, e -196 °C até -50 °C.

Observa-se que os provadores se mostraram mais concordantes em preferir as formulações em pó F2 e F3, congeladas a -20 °C, -170 °C até -50 °C, e -196 °C até -50 °C quanto aos atributos aroma e sabor; já com relação ao atributo cor, a formulação em pó com o maior coeficiente de concordância foi a F3, congelada a -170 °C até -50 °C.

NASCIMENTO (2009) verificou, ao estudar a secagem por liofilização de três tipos de formulação com diferentes percentuais de polpa de cajá, que houve uma aceitação maior quanto ao atributo sabor, com o aumento da concentração da polpa de cajá.

Encontram-se, na Tabela 4.6 os resultados da análise sensorial quanto aos atributos aroma, cor e sabor das formulações F1, F2 e F3 da umbuzada para as diferentes temperaturas de congelamento a -20 °C, -170 °C até -50 °C, e -196 °C até -50 °C.

Tabela 4.6 – Valores médios dos atributos aroma, cor e sabor e coeficiente de concordância (CC) em percentual da média, para as formulações F1, F2 e F3, da umbuzada liofilizada congeladas a (-20 °C, -170 °C até -50 °C, e -196 °C até -50 °C)

Atributos	Formulações	Temperatura de congelamento					
		-20°C	CC%	-170 °C até -50 °C	CC%	-196 °C até -50 °C	CC%
Aroma	F1	4,15	40,02	3,90	32,60	4,27	51,99
	F2	4,32	51,39	4,52	58,23	4,52	61,87
	F3	4,37	58,23	4,47	57,42	4,37	53,76
Cor	F1	4,55	62,37	4,37	51,99	4,15	43,66
	F2	4,42	56,14	4,62	64,11	4,55	62,37
	F3	4,37	51,99	4,82	82,06	4,57	64,83
Sabor	F1	4,27	46,94	4,12	42,76	4,35	55,32
	F2	4,57	64,83	4,72	75,93	4,60	65,19
	F3	4,72	76,14	4,57	62,87	4,17	50,39

Observando-se a Tabela 4.6 segundo a escala hedônica de 5 pontos em anexo (Apêndice A1), nota-se haver diferença entre as notas 4 e 5, de forma que é possível

afirmar que houve maior preferência pelo atributo sensorial aparência da formulação F2 e F3 congeladas a -20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50 °C, com os valores do coeficiente de concordância variando 51,39 a 61,87%, respectivamente; os provadores concordam com a média variando de 4,32 a 4,52 respectivamente, valores que correspondem entre “gostei ligeiramente e gostei muito”.

Nota-se que a cor da formulação F3 congelada a -170 °C até -50 °C obteve a maior média de notas, 4,82, correspondendo a “gostei muito” e também com maior número de provadores que concordam com essa nota, 82,06%.

Percebe-se que houve maior preferência dos provadores pelo atributo sabor das formulações F2 e F3 da umbuzada congelada a -20 °C, -170 °C até -50 °C e -196 °C até -50 °C com médias variando de 4,12 a 4,72, respectivamente; analisando o coeficiente de concordância, observa-se que os valores estão entre 42,76 e 76,14%, respectivamente, o que corresponde a “gostei ligeiramente e gostei muito”.

SILVA *et al.* (2009) relataram, estudando uma bebida mista a partir de polpa de goiaba e cajá, que as bebidas se mostraram bem aceitas para todos os atributos avaliados na análise sensorial, com notas oscilando de 7,65 a 8,17, valores que representam, respectivamente, “gostei moderadamente” e “gostei muitíssimo”.

4.5 – CONCLUSÕES

➤ Com relação às cinéticas de liofilização das formulações

- Os pós das formulações compostas de extrato de soja com 30, 40 e 50% de polpa de umbu, apresentaram rendimentos com valores iguais a 18,8, 19,6 e 20,4%, respectivamente, evidenciando o aumento do rendimento com o acréscimo de polpa de umbu nas formulações.
- As temperaturas de congelamento não apresentam influências significativas nas curvas de secagem da formulação F1, enquanto nas formulações F2 e F3 as temperaturas de congelamento apresentaram pequena influência nas curvas de secagem.
- O aumento da quantidade de polpa de umbu diminui o tempo de secagem das formulações de umbuzada devido, provavelmente, ao valor do teor de água inicial das formulações (30% de polpa de umbu com 80,90% bu, 40% de polpa de umbu com 80,34% bu e 50% de polpa de umbu com 79,73bu) pois, quanto maior o teor de água inicial maior também será o tempo de secagem deste produto.
- O modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata, Midilli e Kucuk, e o de Page, se equivalem, pois os coeficientes de determinação dos modelos estão acima de 99% e os menores desvios percentuais médios se encontram no modelo proposto por Cavalcanti Mata.
- Com relação à caracterização físico-química das três formulações da umbuzada, os valores de proteínas, lipídios, pH e teor de água diminuíram com a concentração da polpa de umbu; já os valores de carboidrato, cinzas, acidez total titulável e calorias das formulações da umbuzada, aumentaram com o aumento da adição da polpa de umbu.

Caracterização físico-química do pó da umbuzada

- Em relação às diferentes formulações e independente dos tipos de congelamento, houve um aumento significativo dos valores de proteínas, carboidratos, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, teor de água e calorias das amostras em pó liofilizada.

Análise sensorial

- As formulações F2 e F3 liofilizadas foram as que apresentaram os maiores valores quanto à preferência, porém todas as formulações apresentam potencial de consumo, sendo considerados produtos atrativos pois, no geral, foram classificadas em gostei ligeiramente e gostei muito.

4.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRA, N. G. **Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas e sensoriais**. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande.

ALVES, C. C. O. Pós obtidos da polpa de pequi liofilizada: higroscopicidade e microestrutura. 2007. 182f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, MG.

BIANCHI, S. I. P.; VALDUGA, E.; FINZER, J. R. D. Secagem de cogumelo por liofilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, XII., Erechin. **Anais...** Erechin – RS: COBEQ, 2000.

BOSS, E. A. **Modelagem e otimização do processo de liofilização: aplicação para leite desnatado e café solúvel**. 2004. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos).UNICAMP, Campinas, SP.

BOSS, E. A.; MACIEL FILHO, R. M.; TOLEDO, E. C. V. Freeze dryng process: real time model and optimization. **Chemical Engineering and Processing**. v.43, p.1475-1485. 2004.

BOZKIR, O. Thin-layer during and mathematical modeling for washer dry apricots. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.77, n.1, p.146-151, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017p.

DOYMAZ; I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.69, n.2, p.161-165, 2006.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, Londres, v.63, p.349-359, 2004.

FELBERG, I.; DELIZA, R.; GONÇALVES, E. B.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. C.; CABRAL, L. C. Bebida mista de extrato de soja integral e castanha-do-Brasil: caracterização físico-química, nutricional e aceitabilidade do consumidor, **Revista Alimentação e Nutrição**, Araraquara, v.15, n.2, p.163-174, 2004.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos princípios e prática**. 2ª ed. Porto Alegre, 2006. 602p.

FERREIRA, J. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, E. M.; DANTAS, H. J.; SILVA, A. S. **Cinética de secagem do extrato de soja em pó modificado com polpa de cajá (*Spondias lútea* L.) pelo o processo de liofilização**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37, 2008, Foz do Iguaçu, PR.

FIGUEROA, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. 1ª ed. Editora Universitária. João Pessoa – PB. 2004. 229p.

GARCIA-PASCUAL, P.; SANJUAN, N.; MELIS, R.; MULET, A. Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. **Journal of Food Engineering**, v.72, p.346-353, 2006.

GEORGE, J. P.; DATTA, A. K. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetables slices. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.89-93, 2002.

GOUVEIA, D. S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; QUEIROZ, A. J. M.; UGULINO, S. M. Avaliação física-química e aceitação sensorial do suco de pinha e do blend pinha-leite, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.1, p.29-36, 2007.

JAEKEL, L. Z.; SILVA, A. P.; RODRIGUES, R. S. Informação nutricional de bebida à base de extratos de arroz e de soja. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, IX., Pelotas. **Anais...** Pelotas – RS: CIC, 2007.

JULIANO, F. F.; SILVA, L. D. P.; CASEMIRO, R. C.; SOUZA, R. A. M.; SILVA, P. P. M.; SPOTO, M. H. F. **Caracterização da polpa de cupuaçu** (*Theobroma grandiflorum*) liofilizada. Universidade de São Paulo-USP, 2002.

KOROISHI, E. T. **Estudo do processo de liofilização: aplicação para suco de laranja**. 2005. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). UNICAMP, Campinas, SP.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.39 n.1, p.115-123, 2003.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, SP.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea Mart*) liofilizada. **Revista Acta Amazônica**, v.38 n.2, p.311-316, 2008.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v.20, n.7, p.1503–1513, 2002.

NASCIMENTO, M. A. G. do. **Obtenção do leite de cabra em pó com diferentes concentrações de polpa de cajá**. 2009. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande-PB.

ORDONEZ, J. A. **Tecnología de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C.; SOUZA, F. C.; MARTINS, J. N.; OLIVEIRA, S. P. A. Obtenção de ubaia desidratada pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.4 n.2, p.235-242, 2010.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.25-33, 2006.

PINHO, L. X. **Aproveitamento do resíduo do pendúnculo de caju (*Anacardium occidentale* L.) para alimentação humana**. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value food: a review. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.311-319, 2001.

ROCHA, M. M. R. M. **Liofilização como método de agregar valor ao camarão marinho *Litopenaeus vannamei***. 2010. 183f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal da Paraíba.

RODRIGUES, R. S.; MORETTI, R. H. Caracterização físico-química de bebida protéica elaborada com extrato de soja e polpa de pêssegos. **Boletim Centro de Pesquisa do Paraná**, Curitiba, v.26, n.1, p.101-110, 2008.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C.A.V. de. A new version of the Assistat-Statistical assistance software. In: World Congress on Computers in Agriculture, 4, Orlando. **Anais...** Orlando-FL-USA: ASAE, p.393-396, 2006.

SILVA, P. A.; CARVALHO, A. V.; PINTO, C. A. Elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá. **Revista. Ciência. Agrária**, Belém, n.51, p.99-113, 2009

TOGRUL, H. Suitable drying model for infrared drying of carrot. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.77, n.3, p.610-619, 2004.

VIANNA, R. I.; MAHLMANN, A. L.; RODRÍGUEZ, N. M.; MARQUARDT, A. L. B. Estudo de embalagens flexíveis monocamada para acondicionamento de produtos liofilizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS. 17º., Foz do Iguaçu. **Anais...** CBECIM: Foz do Iguaçu. PR, 2006.

WELTI, J. C. H.; VERGARA, F. B. Actividad de agua – concepto y aplicación em alimentos com alto contenido de humedad. In: **Temas en tecnología de alimentos**, México, v.1, p.11-37, 1997.

APÊNDICE A-C1

Tabela A1.1 – Análise de variância da proteína dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	2248,49320	749,49773	445246,18**
Resíduo	8	0,01347	0,00168	
Total	11	2248,50667		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.2 – Análise de variância de carboidratos dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	2813,79963	937,93321	59931,8344**
Resíduo	8	0,12520	0,01565	
Total	11	2813,92483		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.3 – Análise de variância de lipídios dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	372,17897	124,05966	29954,0416**
Resíduo	8	0,03313	0,00414	
Total	11	372,21210		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.4 – Análise de variância do pH dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	1,51882	0,50627	20251,0000**
Resíduo	8	0,00020	0,00003	
Total	11	1,51903		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.5 – Análise de variância da acidez total titulável dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	46,16247	15,38749	34839,5975**
Resíduo	8	0,00353	0,00044	
Total	11	46,16600		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.6 – Análise de variância das cinzas dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	32,98540	10,99513	12935,4510**
Resíduo	8	0,00680	0,00085	
Total	11	32,99220		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.7 – Análise de variância do teor de água dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	15726,34216	5242,11405	134541,62**
Resíduo	8	0,03073	0,00384	
Total	11	15726,37289		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.8 – Análise de variância do valor calórico dos grãos de soja e proporções soja:água (1:8, 1:10 e 1:12).

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	330748	110249,44463	1386640,12**
Resíduo	8	0,63607	0,07915	
Total	11	330748,96997		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Polpa de umbu

Regressão linear

Com os dados da Tabela A1.18 se obtém o gráfico mostrado na Figura A1.1. Pode-se observar que foi considerado o intervalo de tempo entre 20 e 80 minutos, onde a relação entre a temperatura e o tempo é linear.

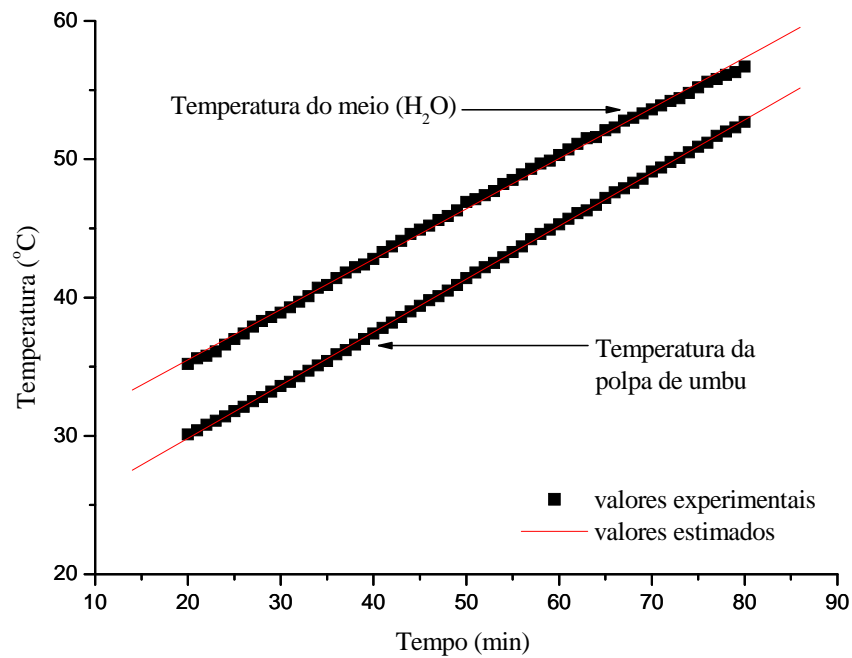


Figura A1.1 - Valores experimentais e estimados da temperatura em função do tempo.

Aplicando análise de regressão linear, obtemos as seguintes expressões para cada curva:

$$T_{p_u} = 22,15151 + 0,38396t$$

$$T_m = 28,21261 + 0,36401t$$

em que,

T_{pu} - temperatura da polpa de umbu, $^{\circ}\text{C}$

T_m - temperatura do meio, $^{\circ}\text{C}$

t - tempo, min

Com os coeficientes das expressões, calculamos:

1. Velocidade de aquecimento, $^{\circ}\text{C min}^{-1}$

$$A = (0,38396 + 0,36401) / 2$$

ou seja:

$$A = 0,373985$$

2. Diferença de temperatura, $^{\circ}\text{C}$

$$T_{pu} - T_m = (28,21261 - 22,15151)$$

ou seja:

$$T_{pu} - T_m = 6,0611$$

3. $R_c = 24,16 \text{ mm}$

Considerando a Equação XX do Capítulo I:

Obtemos o valor da difusividade:

$$\alpha = 1,500 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Extrato de soja

Regressão linear

Com os dados da Tabela A1.19 se obtém o gráfico mostrado na Figura A1.2. Pode-se observar que foi considerado o intervalo de tempo entre 20 e 80 minutos, onde a relação entre a temperatura e o tempo é linear.

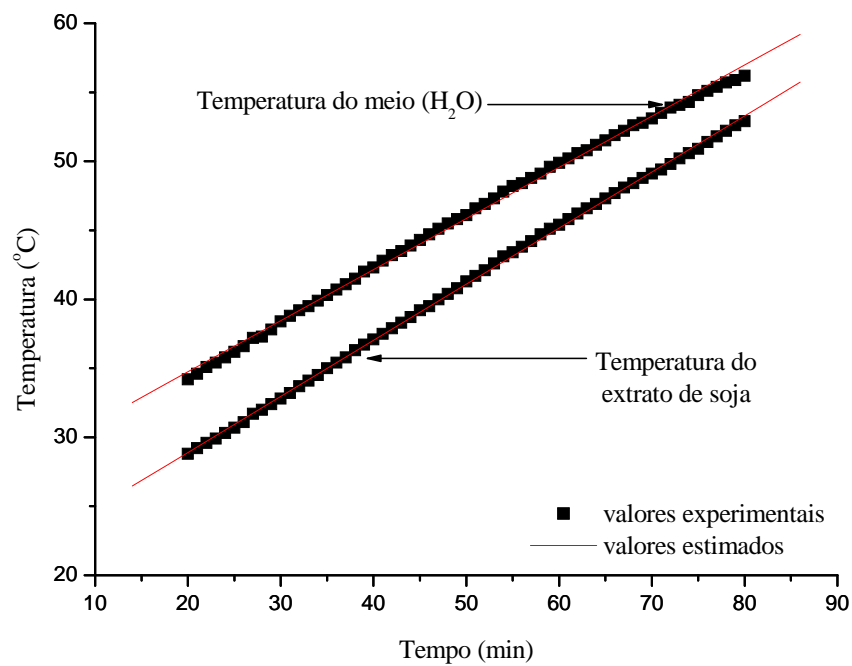


Figura A1.2 - Valores experimentais e estimados da temperatura em função do tempo.

Aplicando análise de regressão linear, obtemos as seguintes expressões para cada curva:

$$T_{e_s} = 20,76663 + 0,40654t$$

$$T_m = 27,32084 + 0,3707t$$

em que,

T_{es} - temperatura do extrato de soja, $^{\circ}\text{C}$

T_m - temperatura do meio, $^{\circ}\text{C}$

t - tempo, min

Com os coeficientes das expressões, calculamos:

1. Velocidade de aquecimento, $^{\circ}\text{C min}^{-1}$

$$A = (0,40654 + 0,3707) / 2$$

ou seja:

$$A = 0,38862$$

2. Diferença de temperatura, $^{\circ}\text{C}$

$$T_{es} - T_m = (27,32084 - 20,76663)$$

ou seja:

$$T_{es} - T_m = 6,55421$$

3. $R_c = 24,16 \text{ mm}$

Considerando a Equação XX do Capítulo I:

Obtemos o valor da difusividade:

$$\alpha = 1,442 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Formulação 1

Regressão linear

Com os dados da Tabela A1.20 se obtém o gráfico mostrado na Figura A1.3. Pode-se observar que foi considerado o intervalo de tempo entre 20 e 80 minutos, onde a relação entre a temperatura e o tempo é linear.

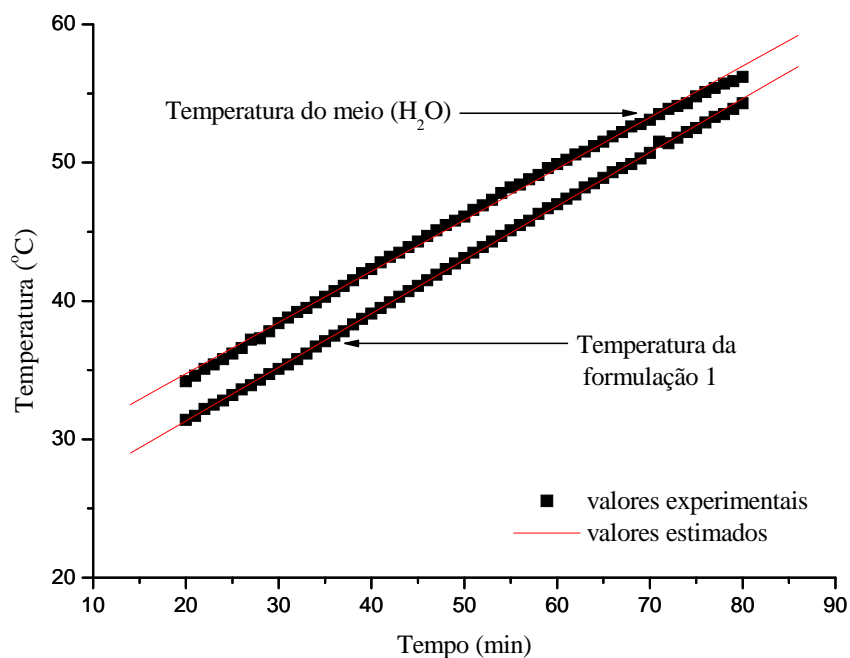


Figura A1.3 - Valores experimentais e estimados da temperatura em função do tempo.

Aplicando análise de regressão linear, obtemos as seguintes expressões para cada curva:

$$T_{f_1} = 23,56854 + 0,38817t$$

$$T_m = 27,32084 + 0,37071t$$

em que,

T_{f1} - temperatura da formulação 1, °C

T_m - temperatura do meio, °C

t - tempo, min

Com os coeficientes das expressões, calculamos:

1. Velocidade de aquecimento, °C min⁻¹

$$A = (0,38817 + 0,3707) / 2$$

ou seja:

$$A = 0,379435$$

2. Diferença de temperatura, °C

$$T_{f1} - T_m = (27,32084 - 23,56854)$$

ou seja:

$$T_{f1} - T_m = 3,7523$$

3. $R_c = 24,16$ mm

Considerando a Equação XX do Capítulo I:

Obtemos o valor da difusividade:

$$\alpha = 1,377 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Formulação 2

Regressão linear

Com os dados da Tabela A1.21 se obtém o gráfico mostrado na Figura A1.4. Pode-se observar que foi considerado o intervalo de tempo entre 20 e 80 minutos, onde a relação entre a temperatura e o tempo é linear.

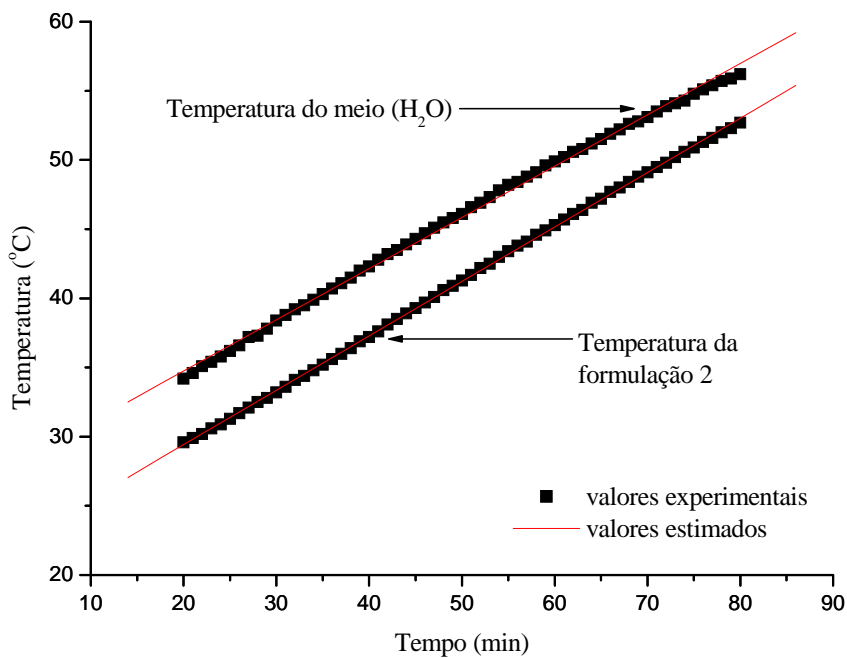


Figura A1.4 - Valores experimentais e estimados da temperatura em função do tempo.

Aplicando análise de regressão linear, obtemos as seguintes expressões para cada curva:

$$T_{f_2} = 21,54664 + 0,39356t$$

$$T_m = 27,32084 + 0,3707t$$

em que,

T_{f2} - temperatura da formulação 2, °C

T_m - temperatura do meio, °C

t - tempo, min

Com os coeficientes das expressões, calculamos:

1. Velocidade de aquecimento, °C min⁻¹

$$A = (0,39356 + 0,3707) / 2$$

ou seja:

$$A = 0,38312$$

2. Diferença de temperatura, °C

$$T_{f2} - T_m = (27,32084 - 21,54664)$$

ou seja:

$$T_{f2} - T_m = 5,7742$$

3. $R_c = 24,16$ mm

Considerando a Equação XX do Capítulo I:

Obtemos o valor da difusividade:

$$\alpha = 1,353 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Formulação 3

Regressão linear

Com os dados da Tabela A1.22 se obtém o gráfico mostrado na Figura A1.5. Pode-se observar que foi considerado o intervalo de tempo entre 20 e 80 minutos, onde a relação entre a temperatura e o tempo é linear.

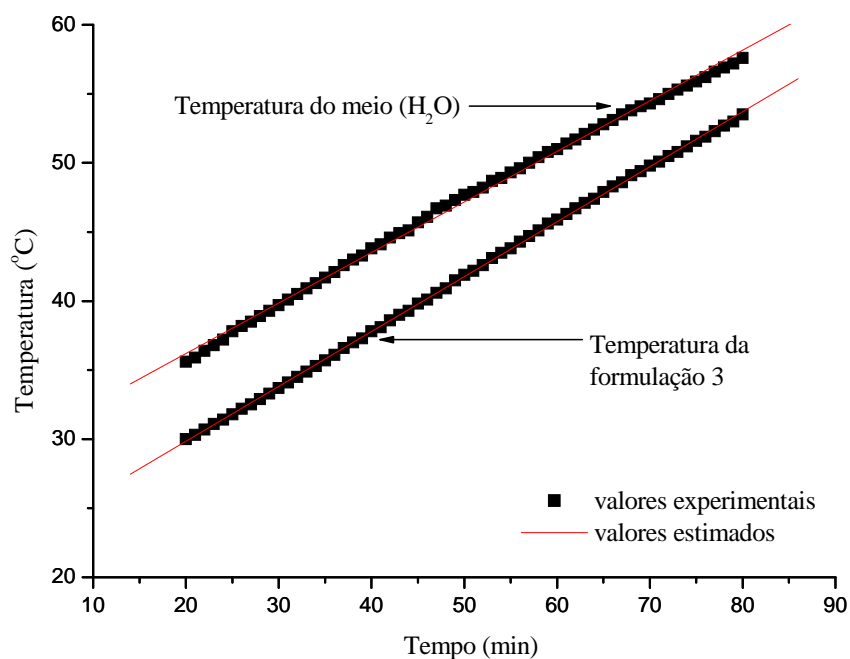


Figura A1.5 - Valores experimentais e estimados da temperatura em função do tempo.

Aplicando análise de regressão linear, obtemos as seguintes expressões para cada curva:

$$T_{f_3} = 21,88234 + 0,39776t$$

$$T_m = 28,87604 + 0,36595t$$

em que,

T_{f3} - temperatura da formulação 3, °C

T_m - temperatura do meio, °C

t - tempo, min

Com os coeficientes das expressões, calculamos:

1. Velocidade de aquecimento, °C min⁻¹

$$A = (0,39776 + 0,36595) / 2$$

ou seja:

$$A = 0,381855$$

2. Diferença de temperatura, °C

$$T_{f3} - T_m = (28,87604 - 21,88234)$$

ou seja:

$$T_{f3} - T_m = 6,9937$$

3. $R_c = 24,16$ mm

Considerando a Equação XX do Capítulo I:

Obtemos o valor da difusividade:

$$\alpha = 1,327 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Tabela A1.9 – Dados experimentais obtidos na experiência realizada para determinação da difusividade térmica da polpa de umbu.

Tempo (T) min.	Temperatura da polpa de umbu (T₁) °C	Temperatura do meio – H₂O (T₂) °C
20	30,1	35,2
21	30,4	35,6
22	30,8	35,8
23	31,1	36,1
24	31,4	36,6
25	31,8	37,0
26	32,1	37,4
27	32,5	37,9
28	32,8	38,3
29	33,2	38,6
30	33,6	38,9
31	33,9	39,3
32	34,3	39,7
33	34,7	40,1
34	35,1	40,7
35	35,4	40,9
36	35,9	41,4
37	36,2	41,8
38	36,6	42,2
39	37,0	42,4
40	37,4	42,8
41	37,8	43,3
42	38,2	43,7
43	38,6	44,1

44	39,0	44,6
45	39,4	44,9
46	39,8	45,2
47	40,1	45,6
48	40,5	45,9
49	40,9	46,3
50	41,4	46,9
51	41,8	47,1
52	42,2	47,4
53	42,5	47,7
54	42,9	48,2
55	43,3	48,5
56	43,7	48,9
57	44,2	49,3
58	44,6	49,7
59	44,9	49,9
60	45,3	50,3
61	45,7	50,7
62	46,1	51,1
63	46,3	51,5
64	46,7	51,6
65	47,2	52,1
66	47,6	52,3
67	47,9	52,8
68	48,3	53,0
69	48,6	53,3
70	49,1	53,6

71	49,4	53,9
72	49,8	54,2
73	50,1	54,4
74	50,5	54,8
75	50,9	55,2
76	51,2	55,6
77	51,7	55,8
78	52,0	56,1
79	52,3	56,3
80	52,7	56,7

Tabela A1.9 – Dados experimentais para o cálculo da difusividade térmica da polpa de umbu.

Tabela A1.10 – Dados experimentais obtidos na experiência realizada para determinação da difusividade térmica do extrato de soja na proporção soja:água (1:8).

Tempo (T) min.	Temperatura do extrato de soja (T₁) °C	Temperatura do meio – H₂O (T₂) °C
20	28,8	34,2
21	29,2	34,6
22	29,6	35,1
23	29,9	35,4
24	30,3	35,8
25	30,7	36,2
26	31,1	36,6
27	31,7	37,2
28	32,0	37,3
29	32,4	37,8
30	32,8	38,4

31	33,2	38,8
32	33,7	39,2
33	34,1	39,5
34	34,5	39,9
35	35,0	40,3
36	35,4	40,7
37	35,8	41,1
38	36,3	41,5
39	36,7	42,0
40	37,1	42,3
41	37,5	42,8
42	37,9	43,2
43	38,3	43,5
44	38,7	43,9
45	39,2	44,3
46	39,5	44,7
47	40,0	45,1
48	40,4	45,5
49	40,8	45,8
50	41,3	46,1
51	41,7	46,6
52	42,1	46,9
53	42,6	47,3
54	43,1	47,8
55	43,4	48,2
56	43,8	48,4
57	44,2	48,8

58	44,7	49,1
59	45,1	49,6
60	45,4	49,9
61	45,8	50,2
62	46,2	50,6
63	46,6	50,8
64	46,9	51,2
65	47,3	51,5
66	47,7	51,9
67	48,1	52,2
68	48,4	52,6
69	48,8	52,8
70	49,1	53,1
71	49,4	53,5
72	49,8	53,9
73	50,2	54,1
74	50,6	54,3
75	50,9	54,8
76	51,4	55,1
77	51,8	55,4
78	52,2	55,7
79	52,6	55,9
80	52,9	56,2

Tabela A1.10 – Dados experimentais para o cálculo da difusividade térmica do extrato de soja na proporção soja:água (1:8).

Tabela A1.11 – Dados experimentais obtidos na experiência realizada para determinação da difusividade da umbuzada composta com 30% de polpa de umbu.

Tempo (T) min.	Temperatura da umbuzada (T₁) °C	Temperatura do meio – H₂O (T₂) °C
20	31,4	36,8
21	31,7	37,1
22	32,2	37,7
23	32,5	37,9
24	32,8	38,4
25	33,2	38,9
26	33,6	39,4
27	33,9	39,7
28	34,3	40,0
29	34,7	40,5
30	35,1	40,8
31	35,4	41,3
32	35,8	41,6
33	36,2	42,1
34	36,7	42,6
35	37,1	42,9
36	37,5	43,2
37	37,8	43,6
38	38,3	44,0
39	38,7	44,3
40	39,1	44,6
41	39,5	45,1
42	39,9	45,4
43	40,3	45,9
44	40,7	46,3
45	41,1	46,6

46	41,5	47,0
47	41,9	47,3
48	42,3	47,7
49	42,7	48,1
50	43,1	48,4
51	43,5	48,8
52	43,9	49,1
53	44,3	49,6
54	44,7	49,8
55	45,1	50,1
56	45,5	50,5
57	45,8	50,8
58	46,3	51,3
59	46,7	51,6
60	47,0	51,9
61	47,4	52,3
62	47,7	52,6
63	48,2	52,9
64	48,5	53,1
65	48,9	53,6
66	49,3	53,9
67	49,6	54,2
68	49,9	54,5
69	50,3	54,9
70	50,7	55,2
71	51,5	55,6
72	51,4	55,8

73	51,8	56,2
74	52,2	56,6
75	52,5	56,9
76	52,9	57,1
77	53,3	57,6
78	53,5	57,7
79	53,9	58,1
80	54,3	58,3

Tabela A1.11 – Dados experimentais para o cálculo da difusividade térmica da umbuzada composta com 30% de polpa de umbu.

Tabela A1.12 – Dados experimentais obtidos na experiência realizada para determinação da difusividade da umbuzada composta com 40% de polpa de umbu.

Tempo (T) min.	Temperatura da umbuzada (T₁) °C	Temperatura do meio – H₂O (T₂) °C
20	29,6	35,0
21	29,9	35,4
22	30,2	35,8
23	30,6	36,3
24	30,9	36,6
25	31,3	37,2
26	31,7	37,6
27	32,1	38,0
28	32,5	38,4
29	32,8	38,8
30	33,2	39,2
31	33,6	39,6
32	34,1	40,1

33	34,4	40,4
34	34,8	40,8
35	35,2	41,1
36	35,6	41,5
37	36,0	41,9
38	36,4	42,3
39	36,9	42,8
40	37,2	43,1
41	37,6	43,5
42	38,1	44,0
43	38,5	44,4
44	38,9	44,8
45	39,3	45,1
46	39,7	45,5
47	40,1	45,8
48	40,6	46,2
49	40,9	46,6
50	41,3	46,9
51	41,7	47,2
52	42,2	47,7
53	42,5	48,0
54	43,0	48,3
55	43,4	48,8
56	43,8	49,1
57	44,1	49,3
58	44,6	49,8
59	44,9	50,1

60	45,3	50,5
61	45,7	50,9
62	46,1	51,1
63	46,4	51,4
64	46,9	51,9
65	47,2	52,2
66	47,7	52,6
67	48,0	52,9
68	48,4	53,1
69	48,8	53,4
70	49,1	53,8
71	49,5	54,2
72	49,8	54,4
73	50,2	54,7
74	50,6	55,2
75	50,9	55,4
76	51,3	55,6
77	51,6	55,9
78	52,0	56,2
79	52,3	56,5
80	52,7	56,7

Tabela A1.12 – Dados experimentais para o cálculo da difusividade térmica da umbuzada composta com 40% de polpa de umbu.

Tabela A1.13 – Dados experimentais obtidos na experiência realizada para determinação da difusividade da umbuzada composta com 50% de polpa de umbu.

Tempo (T) min.	Temperatura da umbuzada (T₁) °C	Temperatura do meio – H₂O (T₂) °C
20	30,0	35,6
21	30,3	35,9
22	30,7	36,4
23	31,1	36,8
24	31,4	37,2
25	31,8	37,8
26	32,2	38,2
27	32,5	38,5
28	32,9	38,9
29	33,3	39,3
30	33,7	39,7
31	34,1	40,1
32	34,5	40,5
33	34,9	40,9
34	35,3	41,3
35	35,7	41,7
36	36,1	42,1
37	36,6	42,6
38	37,0	43,0
39	37,3	43,3
40	37,8	43,8
41	38,1	44,1
42	38,6	44,6
43	39,0	44,9
44	39,3	45,1
45	39,8	45,7

46	40,1	46,1
47	40,6	46,7
48	40,9	46,9
49	41,5	47,3
50	41,9	47,7
51	42,2	47,9
52	42,6	48,2
53	43,1	48,7
54	43,5	48,9
55	43,8	49,3
56	44,3	49,6
57	44,7	50,0
58	45,1	50,4
59	45,6	50,8
60	45,9	51,0
61	46,3	51,4
62	46,7	51,7
63	47,1	52,1
64	47,4	52,4
65	47,9	52,8
66	48,3	53,1
67	48,6	53,5
68	49,1	53,8
69	49,4	54,1
70	49,8	54,3
71	50,1	54,6
72	50,5	55,0

73	50,8	55,3
74	51,2	55,6
75	51,6	55,9
76	51,9	56,2
77	52,3	56,6
78	52,7	56,9
79	53,0	57,2
80	53,5	57,6

Tabela A1.13 – Dados experimentais para o cálculo da difusividade térmica da umbuzada composta com 50% de polpa de umbu.

Tabela A1.14 – Análise de variância da difusividade térmica da polpa de umbu, extrato de soja e das três formulações da umbuzada.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	4	0.05949	0.01487	14873.1000**
Resíduo	10	0.00001	0.00000	
Total	14	0,05950		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.15 – Análise de variância da massa específica da polpa de umbu, extrato de soja e das três formulações da umbuzada.

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	4	0.31227	0.07807	73189.2812**
Resíduo	10	0.00001	0.00000	
Total	14	0,31228		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.16 – Análise de variância do calor específico da polpa de umbu, extrato de soja e das três formulações da umbuzada.

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	4	0.05653	0.01413	16306.4615**
Resíduo	10	0.00001	0.00000	
Total	14	0,05654		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A1.17 – Análise de variância da condutividade térmica da polpa de umbu, extrato de soja e das três formulações da umbuzada.

Fonte de variação	G.L.	S,Q.	Q.M.	F
Tratamentos	4	0.18813	0.04703	47031.9000**
Resíduo	10	0.00001	0.00000	
Total	14	0,18814		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Ficha de Avaliação Sensorial da Umbuzada com Extrato de Soja e rapadura			
Provedor:		Idade:	
Data: / /			
<p>Você está recebendo três amostras de umbuzada com extrato de soja e rapadura. Avalie cuidadosamente os atributos, cor, aroma e sabor de cada uma delas. Utilize a escala abaixo para demonstrar o quanto você gostou ou desgostou.</p>			
<p>1 – Desgostei muito 2 – Desgostei ligeiramente 3 – Indiferente 4 – Gostei ligeiramente 5 – Gostei muito</p>			
Atributos	Amostra cód.	Amostra cód.	Amostra cód.
Cor			
Aroma			
Sabor			
Comentários:			

Figura C3.1 – Ficha para avaliação sensorial da cor, aroma e sabor das três formulações da umbuzada com extrato de soja e rapadura.

APÊNDICE B-C2

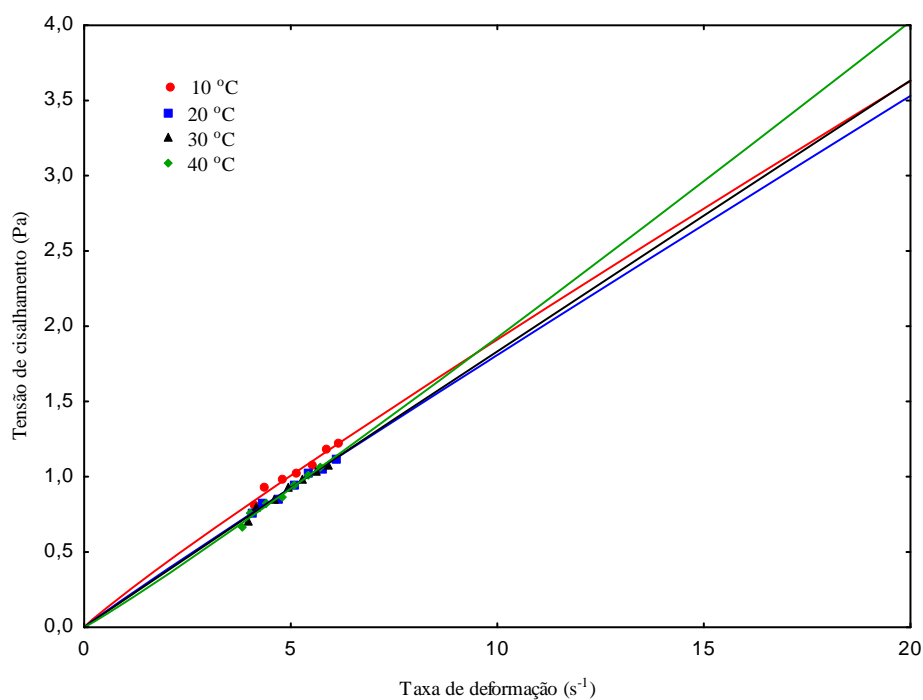


Figura B2.1 – Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação do extrato de soja com ajuste pelo modelo Ostwald-de-Waele (LP)

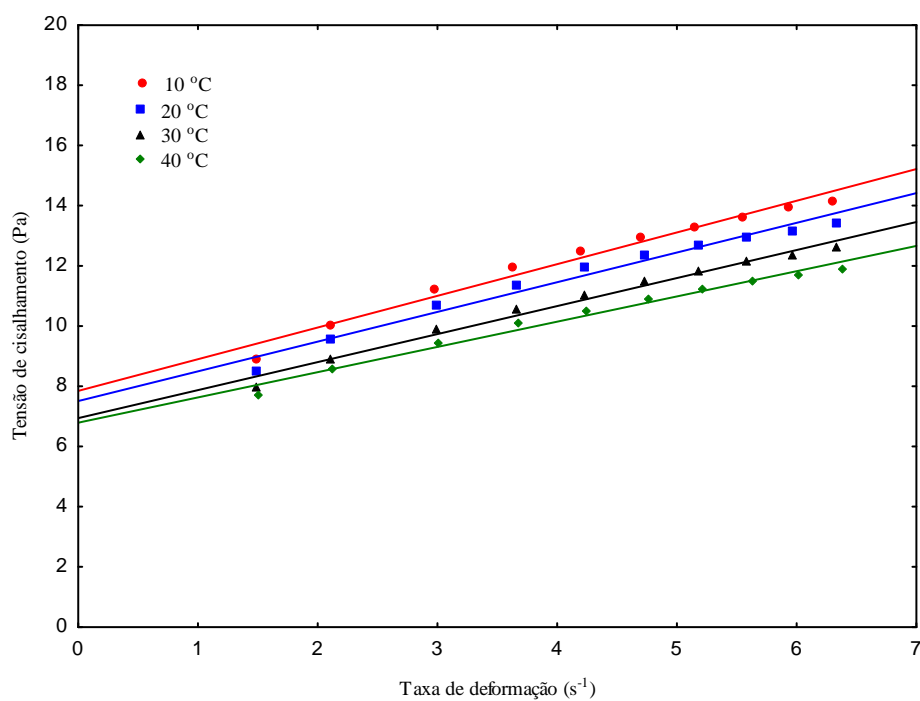


Figura B2.2 – Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de umbu com ajuste pelo modelo Casson

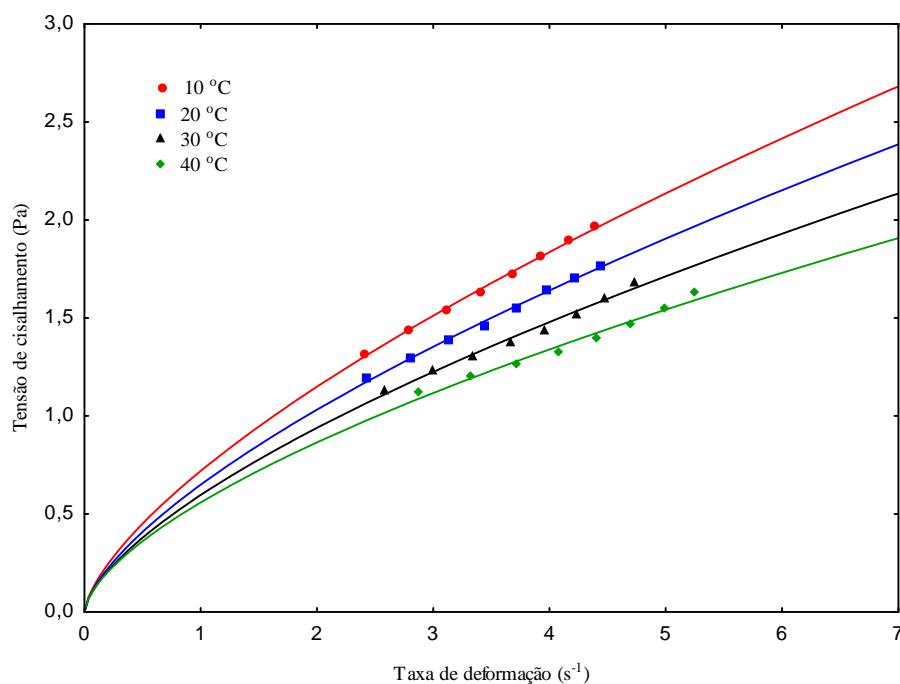


Figura B2.3 – Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da F1 com ajuste pelo modelo Ostwald-de-Waele (LP)

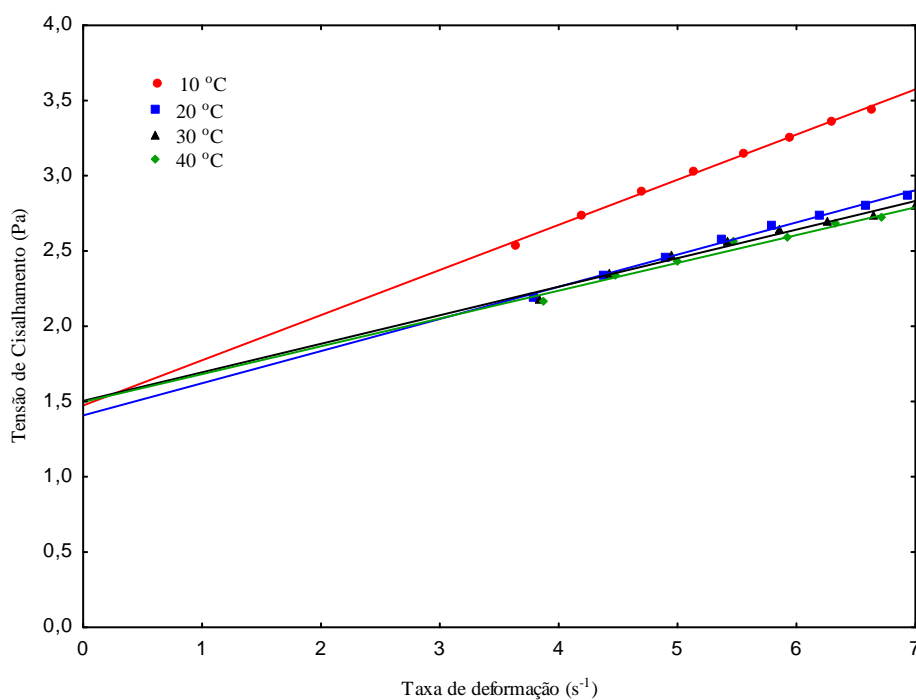


Figura B2.4 – Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da F2 com ajuste pelo modelo Casson

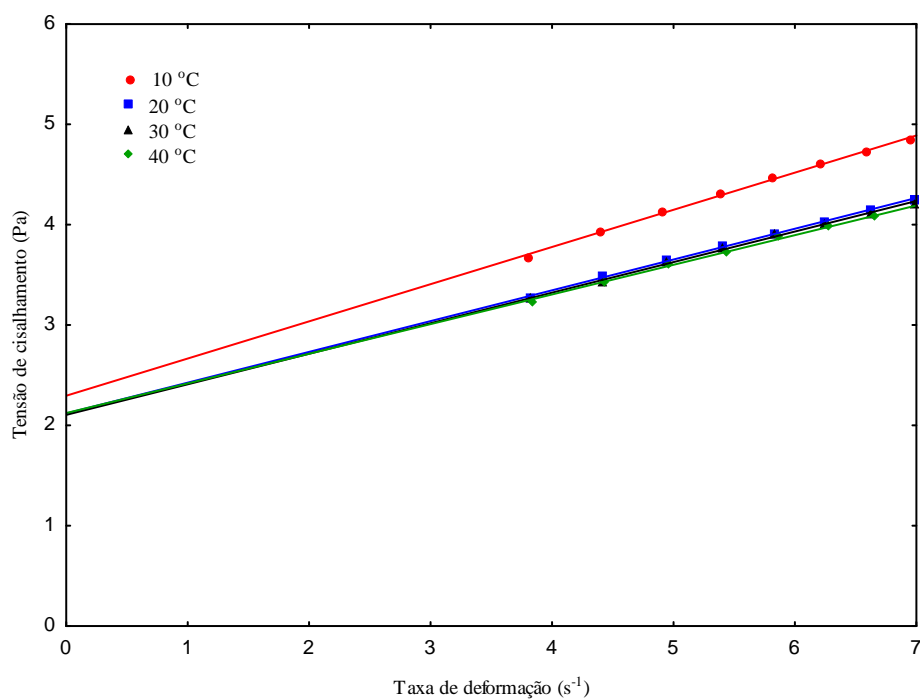


Figura B2.5 – Relação entre a taxa de cisalhamento e taxa de deformação da F3 com ajuste pelo modelo Casson

APÊNDICE C-C3

Tabela C3.1 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento a - 20 °C em freezer convencional da umbuzada com 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	12600	0,189	25200	0,017
300	0,870	12900	0,177	25500	0,015
600	0,762	13200	0,164	25800	0,015
900	0,672	13500	0,155	26100	0,013
1200	0,591	13800	0,145	26400	0,013
1500	0,519	14100	0,138	26700	0,013
1800	0,460	14400	0,130	27000	0,011
2100	0,404	14700	0,123	27300	0,011
2400	0,351	15000	0,113	27600	0,011
2700	0,381	15300	0,109	27900	0,011
3000	0,381	15600	0,100	28200	0,009
3300	0,381	15900	0,091	28500	0,009
3600	0,381	16200	0,089	28800	0,009
3900	0,381	16500	0,085	29100	0,006
4200	0,379	16800	0,081	29400	0,006
4500	0,377	17100	0,079	29700	0,006
4800	0,377	17400	0,079	30000	0,004
5100	0,377	17700	0,072	30300	0,004
5400	0,374	18000	0,066	30600	0,002
5700	0,372	18300	0,057	30900	0,002
6000	0,370	18600	0,051	31200	0,002
6300	0,368	18900	0,047	31500	0,002
6600	0,366	19200	0,043	31800	0,000
6900	0,364	19500	0,038		
7200	0,362	19800	0,034		
7500	0,355	20100	0,034		
7800	0,353	20400	0,030		
8100	0,345	20700	0,030		
8400	0,338	21000	0,030		
8700	0,330	21300	0,030		
9000	0,323	21600	0,028		
9300	0,315	21900	0,026		
9600	0,304	22200	0,023		
9900	0,294	22500	0,021		
10200	0,283	22800	0,019		
10500	0,272	23100	0,019		
10800	0,262	23400	0,019		
11100	0,253	23700	0,019		
11400	0,240	24000	0,019		
11700	0,228	24300	0,017		
12000	0,217	24600	0,017		
12300	0,204	24900	0,017		

Tabela C3.2 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento a - 20 °C em freezer convencional da umbuzada com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	12600	0,159	25200	0,010
300	0,911	12900	0,151	25500	0,010
600	0,814	13200	0,143	25800	0,008
900	0,729	13500	0,133	26100	0,006
1200	0,644	13800	0,126	26400	0,004
1500	0,571	14100	0,116	26700	0,002
1800	0,509	14400	0,108	27000	0,002
2100	0,395	14700	0,101	27300	0,000
2400	0,377	15000	0,095		
2700	0,350	15300	0,089		
3000	0,371	15600	0,087		
3300	0,373	15900	0,081		
3600	0,373	16200	0,079		
3900	0,373	16500	0,077		
4200	0,371	16800	0,075		
4500	0,369	17100	0,070		
4800	0,366	17400	0,066		
5100	0,364	17700	0,064		
5400	0,362	18000	0,060		
5700	0,360	18300	0,058		
6000	0,358	18600	0,056		
6300	0,356	18900	0,056		
6600	0,354	19200	0,054		
6900	0,354	19500	0,052		
7200	0,352	19800	0,050		
7500	0,350	20100	0,048		
7800	0,346	20400	0,046		
8100	0,340	20700	0,046		
8400	0,335	21000	0,043		
8700	0,327	21300	0,043		
9000	0,317	21600	0,039		
9300	0,308	21900	0,035		
9600	0,298	22200	0,031		
9900	0,286	22500	0,029		
10200	0,273	22800	0,027		
10500	0,257	23100	0,025		
10800	0,244	23400	0,023		
11100	0,232	23700	0,023		
11400	0,213	24000	0,021		
11700	0,199	24300	0,019		
12000	0,186	24600	0,014		
12300	0,172	24900	0,012		

Tabela C3.3 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento a - 20 °C em freezer convencional da umbuzada com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	12600	0,154	25200	0,010
300	0,894	12900	0,145	25500	0,006
600	0,795	13200	0,139	25800	0,004
900	0,699	13500	0,131	26100	0,002
1200	0,618	13800	0,127	26400	0,002
1500	0,541	14100	0,122	26700	0,000
1800	0,481	14400	0,120		
2100	0,400	14700	0,112		
2400	0,386	15000	0,110		
2700	0,361	15300	0,106		
3000	0,382	15600	0,100		
3300	0,382	15900	0,098		
3600	0,380	16200	0,091		
3900	0,380	16500	0,089		
4200	0,378	16800	0,087		
4500	0,378	17100	0,087		
4800	0,376	17400	0,085		
5100	0,376	17700	0,083		
5400	0,371	18000	0,081		
5700	0,369	18300	0,079		
6000	0,367	18600	0,077		
6300	0,365	18900	0,075		
6600	0,361	19200	0,075		
6900	0,359	19500	0,073		
7200	0,355	19800	0,073		
7500	0,351	20100	0,071		
7800	0,346	20400	0,066		
8100	0,336	20700	0,064		
8400	0,326	21000	0,060		
8700	0,317	21300	0,056		
9000	0,305	21600	0,054		
9300	0,288	21900	0,050		
9600	0,276	22200	0,048		
9900	0,263	22500	0,044		
10200	0,251	22800	0,037		
10500	0,239	23100	0,031		
10800	0,226	23400	0,029		
11100	0,214	23700	0,025		
11400	0,201	24000	0,023		
11700	0,189	24300	0,019		
12000	0,174	24600	0,015		
12300	0,164	24900	0,012		

Tabela C3.4 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento até -50 °C no vapor de nitrogênio líquido da umbuzada com 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1	210	0,7283	420	0,61509
5	0,99874	215	0,72201	425	0,61384
10	0,99245	220	0,71447	430	0,61384
15	0,98365	225	0,71069	435	0,61258
20	0,97987	230	0,70692	440	0,61132
25	0,97107	235	0,70314	445	0,61006
30	0,95975	240	0,69686	450	0,60881
35	0,94843	245	0,69182	455	0,60755
40	0,93962	250	0,68805	460	0,60755
45	0,93082	255	0,68428	465	0,60629
50	0,92453	260	0,6805	470	0,60629
55	0,92075	265	0,67547	475	0,60503
60	0,91447	270	0,67296	480	0,60503
65	0,90943	275	0,6717	485	0,60377
70	0,9044	280	0,67044	490	0,60252
75	0,89686	285	0,66667	495	0,60252
80	0,88553	290	0,66541	500	0,60126
85	0,87673	295	0,66415	505	0,60126
90	0,8717	300	0,66164	510	0,6
95	0,86289	305	0,65912	515	0,6
100	0,85912	310	0,65535	520	0,59874
105	0,85157	315	0,6478	525	0,59748
110	0,84277	320	0,64403	530	0,59623
115	0,83522	325	0,64151	535	0,59497
120	0,83019	330	0,64025	540	0,59371
125	0,82264	335	0,63899	545	0,59245
130	0,82013	340	0,63648	550	0,59119
135	0,81384	345	0,63522	555	0,59119
140	0,80755	350	0,63396	560	0,60252
145	0,79874	355	0,6327	565	0,58868
150	0,79497	360	0,63145	570	0,58742
155	0,78742	365	0,63019	575	0,58616
160	0,77862	370	0,62893	580	0,58491
165	0,77358	375	0,62767	585	0,58365
170	0,76981	380	0,62516	590	0,58239
175	0,76478	385	0,6239	595	0,58239
180	0,75849	390	0,62138	600	0,58113
185	0,75472	395	0,62013	605	0,57862
190	0,75094	400	0,61887	610	0,57736
195	0,74591	405	0,61887	615	0,5761
200	0,74088	410	0,61761	620	0,5761
205	0,73459	415	0,61635	625	0,57358

630	0,57233	745	0,50692	860	0,26792
635	0,57107	750	0,50063	865	0,25157
640	0,56981	755	0,49308	870	0,23899
645	0,56855	760	0,48553	875	0,22893
650	0,56604	765	0,46667	880	0,21635
655	0,56478	770	0,4566	885	0,20503
660	0,56352	775	0,44528	890	0,19245
665	0,56226	780	0,43774	895	0,17987
670	0,55975	785	0,43019	900	0,1673
675	0,55723	790	0,42013	901	0,15723
680	0,55597	795	0,40881	910	0,14214
685	0,55346	800	0,40126	915	0,13333
690	0,55094	805	0,38994	920	0,11698
695	0,54717	810	0,37987	925	0,10314
700	0,54465	815	0,36855	930	0,09182
705	0,54088	820	0,35849	935	0,08302
710	0,53836	825	0,34591	940	0,0717
715	0,53459	830	0,33459	945	0,05535
720	0,53082	835	0,32453	950	0,04654
725	0,52704	840	0,31321	955	0,03522
730	0,52075	845	0,30063	960	0,02264
735	0,51572	850	0,28805	965	0,00881
740	0,51195	855	0,27547	970	0

Tabela C3.5 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento até - 50 °C no vapor de nitrogênio líquido da umbuzada com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	210	0,725	420	0,601
5	0,985	215	0,719	425	0,600
10	0,976	220	0,714	430	0,598
15	0,968	225	0,707	435	0,597
20	0,963	230	0,701	440	0,596
25	0,957	235	0,694	445	0,595
30	0,950	240	0,689	450	0,593
35	0,944	245	0,684	455	0,592
40	0,939	250	0,676	460	0,591
45	0,931	255	0,673	465	0,590
50	0,927	260	0,668	470	0,588
55	0,921	265	0,661	475	0,587
60	0,913	270	0,656	480	0,586
65	0,905	275	0,651	485	0,584
70	0,900	280	0,645	490	0,583
75	0,895	285	0,639	495	0,582
80	0,887	290	0,634	500	0,581
85	0,881	295	0,629	505	0,579
90	0,875	300	0,624	510	0,578
95	0,866	305	0,619	515	0,577
100	0,862	310	0,615	520	0,574
105	0,855	315	0,610	525	0,573
110	0,848	320	0,606	530	0,572
115	0,841	325	0,602	535	0,570
120	0,834	330	0,598	540	0,568
125	0,829	335	0,596	545	0,566
130	0,820	340	0,593	550	0,565
135	0,817	345	0,597	555	0,563
140	0,811	350	0,606	560	0,561
145	0,803	355	0,610	565	0,559
150	0,797	360	0,613	570	0,558
155	0,792	365	0,614	575	0,555
160	0,785	370	0,614	580	0,552
165	0,779	375	0,613	585	0,549
170	0,771	380	0,611	590	0,545
175	0,766	385	0,610	595	0,538
180	0,758	390	0,609	600	0,533
185	0,753	395	0,607	605	0,526
190	0,749	400	0,606	610	0,519
195	0,743	405	0,605	615	0,509
200	0,737	410	0,604	620	0,495
205	0,730	415	0,602	625	0,485

630	0,468	680	0,297	735	0,130
635	0,455	685	0,279	740	0,114
640	0,439	690	0,261	745	0,097
645	0,422	700	0,243	750	0,079
650	0,407	705	0,223	755	0,066
655	0,386	710	0,203	760	0,050
660	0,368	715	0,188	765	0,031
665	0,353	720	0,169	770	0,012
670	0,335	725	0,156	775	0,000
675	0,316	730	0,147		

Tabela C3.6 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento até - 50 °C no vapor de nitrogênio líquido da umbuzada com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1	210	0,7	420	0,56623
5	0,99481	215	0,69221	425	0,56364
10	0,98571	220	0,68312	430	0,56104
15	0,97273	225	0,67013	435	0,55974
20	0,96494	230	0,65455	440	0,55844
25	0,95974	235	0,64805	445	0,55714
30	0,95325	240	0,64156	450	0,55325
35	0,94805	245	0,63506	455	0,55195
40	0,94545	250	0,62727	460	0,55065
45	0,93766	255	0,61948	465	0,54935
50	0,93247	260	0,61169	470	0,54675
55	0,92597	265	0,60649	475	0,54286
60	0,91948	270	0,6013	480	0,54156
65	0,91299	275	0,59481	485	0,53506
70	0,90779	280	0,58571	490	0,53377
75	0,9	285	0,6013	495	0,53117
80	0,89481	290	0,61299	500	0,52857
85	0,88571	295	0,61558	505	0,51818
90	0,88052	300	0,61818	510	0,51558
95	0,87273	305	0,61688	515	0,5026
100	0,86623	310	0,61558	520	0,4987
105	0,85974	315	0,61429	525	0,49221
110	0,85325	320	0,61299	530	0,48831
115	0,84545	325	0,61169	535	0,48312
120	0,83896	330	0,60909	540	0,47662
125	0,83117	335	0,60779	545	0,46623
130	0,82208	340	0,60649	550	0,46364
135	0,81558	345	0,60519	555	0,45455

140	0,80649	350	0,6039	560	0,44675
145	0,7974	355	0,6026	565	0,43766
150	0,79351	360	0,6013	570	0,42597
155	0,78442	365	0,6	575	0,41948
160	0,78052	370	0,5987	580	0,41169
165	0,76494	375	0,5974	585	0,4
170	0,75195	380	0,5961	590	0,39091
175	0,74286	385	0,59481	595	0,37792
180	0,73766	390	0,59221	600	0,36623
185	0,73247	395	0,58831	605	0,35455
190	0,72468	400	0,58442	610	0,34156
195	0,71948	405	0,57922	615	0,32727
200	0,71299	410	0,57403	620	0,31558
205	0,70519	415	0,56883	625	0,3026
630	0,28831	665	0,18442	700	0,06623
635	0,27532	670	0,17143	705	0,05065
640	0,25844	675	0,15844	710	0,02987
645	0,24416	680	0,14156	715	0,01169
650	0,23377	685	0,11948	720	0
655	0,21558	690	0,1026		
660	0,1974	695	0,08182		

Tabela C3.7 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento até - 50 °C por imersão em nitrogênio líquido da umbuzada com 70% de extrato de soja e 30% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	48	0,317
3	0,967	51	0,308
6	0,741	54	0,253
9	0,686	57	0,245
12	0,631	60	0,231
15	0,625	63	0,204
18	0,595	66	0,145
21	0,580	69	0,128
24	0,565	72	0,113
27	0,537	75	0,099
30	0,522	78	0,083
33	0,491	81	0,049
36	0,456	84	0,044
39	0,418	87	0,020
42	0,386	90	0,000
45	0,373		

Tabela C3.8 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento até - 50 °C por imersão em nitrogênio líquido da umbuzada com 60% de extrato de soja e 40% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	48	0,301
3	0,838	51	0,270
6	0,750	54	0,239
9	0,673	57	0,208
12	0,613	60	0,190
15	0,598	63	0,173
18	0,565	66	0,153
21	0,526	69	0,135
24	0,495	72	0,080
27	0,478	75	0,036
30	0,421	78	0,023
33	0,394	81	0,000
36	0,380		
39	0,349		
42	0,336		
45	0,316		

Tabela C3.9 – Razão de temperatura experimental e tempo, obtidos no congelamento a - 50 °C por imersão em nitrogênio líquido da umbuzada com 50% de extrato de soja e 50% de polpa de umbu.

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,000	48	0,218
3	0,839	51	0,188
6	0,634	54	0,153
9	0,571	57	0,126
12	0,540	60	0,106
15	0,508	63	0,047
18	0,477	66	0,010
21	0,430	69	0,010
24	0,404	72	0,000
27	0,369		
30	0,361		
33	0,328		
36	0,313		
39	0,290		
42	0,273		
45	0,240		

Tabela C3.10 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	1,99	1,99	1,85	1,94
20	1,92	1,99	1,89	1,93
40	1,89	1,85	1,92	1,88
60	1,82	1,84	1,87	1,84
80	1,79	1,87	1,82	1,82
100	1,77	1,75	1,80	1,77
120	1,74	1,71	1,73	1,72

Tabela C3.11 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	1,95	1,89	1,93	1,92
20	1,65	1,66	1,64	1,65
40	1,67	1,60	1,58	1,61
60	1,59	1,59	1,55	1,57
80	1,58	1,53	1,55	1,55
100	1,52	1,50	1,52	1,51
120	1,50	1,53	1,49	1,50

Tabela C3.12 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	50% de polpa de umbu			Médias
	(F3)			
0	1,60	1,59	1,55	1,58
20	1,59	1,62	1,56	1,59
40	1,59	1,53	1,51	1,54
60	1,56	1,52	1,50	1,52
80	1,43	1,47	1,41	1,43
100	1,37	1,44	1,44	1,41
120	1,33	1,45	1,38	1,38

Tabela C3.13 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	1,99	1,99	1,85	1,94
20	1,89	1,92	1,96	1,92
40	1,92	1,87	1,96	1,91
60	1,95	1,91	1,88	1,91
80	1,79	1,86	1,81	1,82
100	1,71	1,75	1,69	1,71
120	1,67	1,68	1,69	1,68

Tabela C3.14 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	1,95	1,89	1,93	1,92
20	1,65	1,75	1,71	1,70
40	1,63	1,70	1,68	1,67
60	1,60	1,58	1,65	1,61
80	1,57	1,53	1,60	1,56
100	1,53	1,57	1,51	1,53
120	1,51	1,55	1,53	1,53

Tabela C3.15 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	1,60	1,59	1,55	1,58
20	1,64	1,72	1,68	1,58
40	1,62	1,62	1,65	1,56
60	1,56	1,62	1,65	1,54
80	1,54	1,47	1,50	1,53
100	1,48	1,53	1,58	1,51
120	1,46	1,53	1,54	1,50

Tabela C3.16 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	1,99	1,99	1,85	1,94
20	1,96	1,98	1,93	1,95
40	1,87	1,85	1,86	1,86
60	1,78	1,77	1,75	1,76
80	1,78	1,74	1,71	1,74
100	1,70	1,71	1,70	1,70
120	1,56	1,64	1,59	1,59

Tabela C3.17 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	1,95	1,89	1,93	1,92
20	1,82	1,91	1,88	1,87
40	1,70	1,65	1,68	1,67
60	1,63	1,70	1,65	1,66
80	1,63	1,59	1,60	1,60
100	1,56	1,58	1,51	1,55
120	1,49	1,51	1,52	1,50

Tabela C3.18 – Dados experimentais e valores médios de proteínas da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	1,60	1,59	1,55	1,58
20	1,60	1,58	1,55	1,58
40	1,61	1,54	1,55	1,56
60	1,53	1,55	1,58	1,55
80	1,51	1,47	1,50	1,49
100	1,45	1,33	1,41	1,39
120	1,39	1,39	1,41	1,39

Tabela C3.19 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	16,30	16,35	16,20	16,28
20	14,85	14,96	14,85	14,89
40	14,94	14,93	14,89	14,92
60	14,96	14,89	14,91	14,92
80	14,32	14,20	14,43	14,32
100	14,28	14,28	14,27	14,28
120	14,22	14,32	14,24	14,26

Tabela C3.20 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	17,20	16,94	17,18	17,11
20	16,43	16,45	16,42	16,81
40	16,75	16,77	16,75	16,76
60	16,81	16,81	16,80	16,43
80	15,70	15,90	15,90	15,98
100	15,91	15,99	15,96	15,95
120	15,98	15,97	15,99	15,83

Tabela C3.21 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	17,51	17,65	17,93	17,70
20	17,15	17,14	17,13	17,14
40	17,12	17,12	17,13	17,12
60	17,07	17,07	17,06	17,07
80	16,44	16,33	16,27	16,35
100	16,04	16,04	16,03	16,07
120	16,05	16,04	16,11	16,04

Tabela C3.22 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	16,30	16,35	16,20	16,28
20	15,59	15,39	15,50	15,49
40	15,89	15,89	15,44	15,74
60	15,27	15,29	15,34	15,30
80	15,81	15,80	15,70	15,77
100	15,84	15,91	15,85	15,87
120	15,99	15,92	15,97	15,96

Tabela C3.23 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	17,20	16,94	17,18	17,11
20	16,14	16,13	16,10	16,12
40	16,86	16,71	16,71	16,76
60	16,77	16,77	16,78	16,77
80	16,78	16,78	16,77	16,78
100	16,79	16,78	16,78	16,78
120	16,78	16,79	16,79	16,79

Tabela C3.24 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	17,51	17,65	17,93	17,70
20	17,11	17,12	17,17	17,13
40	17,96	17,95	17,93	17,95
60	17,96	17,92	17,96	17,95
80	17,49	17,55	17,52	17,52
100	17,80	17,85	17,94	17,86
120	17,96	17,88	17,87	17,90

Tabela C3.25 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	16,30	16,35	16,20	16,28
20	15,66	15,54	15,59	15,60
40	15,79	15,84	15,83	15,82
60	15,57	15,57	15,51	15,55
80	15,74	15,73	15,75	15,74
100	15,21	15,18	15,15	15,18
120	15,02	15,01	15,94	15,32

Tabela C3.26 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	17,20	16,94	17,18	17,11
20	17,03	17,14	17,01	17,06
40	17,08	17,02	17,06	17,05
60	17,01	17,04	17,05	17,03
80	16,08	16,01	16,04	16,04
100	16,07	16,06	15,99	16,04
120	16,42	16,47	16,58	16,49

Tabela C3.27 – Dados experimentais e valores médios de carboidratos da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	17,51	17,65	17,93	17,70
20	17,16	17,18	17,18	17,17
40	17,19	17,31	17,16	17,22
60	17,03	17,14	17,15	17,11
80	17,09	17,06	17,22	17,12
100	17,18	17,07	17,11	17,12
120	17,03	17,06	17,05	17,05

Tabela C3.28 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,97	0,98	0,91	0,95
40	1,05	0,96	1,01	1,01
60	1,10	1,12	1,08	1,10
80	1,08	1,12	1,11	1,10
100	1,12	1,12	1,08	1,11
120	1,08	1,12	1,12	1,11

Tabela C3.29 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,98	0,97	0,92	0,96
40	0,89	0,87	0,88	0,89
60	0,90	0,92	0,89	0,90
80	0,94	0,94	0,95	0,94
100	0,86	0,87	0,86	0,87
120	0,85	0,81	0,87	0,84

Tabela C3.30 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,82	0,79	0,80	0,80
40	0,88	0,91	0,85	0,88
60	0,88	0,85	0,91	0,88
80	0,82	0,85	0,86	0,84
100	0,87	0,84	0,86	0,85
120	0,90	0,81	0,85	0,86

Tabela C3.31 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	1,10	1,05	1,10	1,08
40	1,11	1,10	1,10	1,10
60	1,12	1,11	1,13	1,12
80	1,13	1,12	1,11	1,12
100	1,08	1,01	1,03	1,13
120	1,12	1,17	1,12	1,14

Tabela C3.32 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,95	0,93	0,94	0,94
40	0,90	0,81	0,85	0,86
60	0,88	0,85	0,91	0,88
80	0,88	0,93	0,95	0,92
100	0,99	0,95	0,91	0,95
120	1,01	0,98	0,93	0,97

Tabela C3.33 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,79	0,81	0,80	0,80
40	0,88	0,91	0,85	0,88
60	0,88	0,85	0,91	0,88
80	0,83	0,84	0,86	0,84
100	0,84	0,86	0,85	0,85
120	0,85	0,78	0,87	0,83

Tabela C3.34 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,99	1,04	1,06	1,03
40	1,01	1,07	1,07	1,05
60	1,08	1,06	1,10	1,08
80	1,12	1,12	1,08	1,11
100	1,13	1,12	1,04	1,13
120	1,12	1,12	1,17	1,14

Tabela C3.35 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,88	0,85	0,91	0,88
40	0,95	0,96	0,95	0,95
60	0,99	0,98	0,91	0,96
80	0,98	1,01	0,93	0,97
100	0,98	0,97	0,99	0,98
120	0,97	0,99	0,98	0,98

Tabela C3.36 – Dados experimentais e valores médios de lipídios da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	1,05	1,01	0,96	1,01
20	0,87	0,86	0,91	0,88
40	0,88	0,89	0,89	0,89
60	0,79	0,83	0,80	0,81
80	0,81	0,79	0,78	0,79
100	0,84	0,86	0,85	0,85
120	0,90	0,81	0,85	0,86

Tabela C3.37 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	3,55	3,55	3,56	3,55
20	3,38	3,38	3,37	3,38
40	3,26	3,26	3,25	3,26
60	3,44	3,44	3,43	3,44
80	3,48	3,48	3,47	3,48
100	3,33	3,33	3,33	3,33
120	3,50	3,50	3,50	3,50

Tabela C3.38 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	3,19	3,19	3,18	3,19
20	3,07	3,07	3,06	3,07
40	2,90	2,90	2,91	2,90
60	3,13	3,13	3,12	3,13
80	3,14	3,14	3,13	3,14
100	2,99	2,99	2,98	2,99
120	3,20	3,20	3,19	3,20

Tabela C3.39 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	50% de polpa de umbu			Médias
	(F3)			
0	2,96	2,96	2,95	2,96
20	2,80	2,80	2,79	2,80
40	2,80	2,80	2,81	2,80
60	2,94	2,94	2,93	2,94
80	2,89	2,89	2,88	2,89
100	2,79	2,79	2,79	2,79
120	3,01	3,01	3,00	3,01

Tabela C3.40 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	3,55	3,55	3,56	3,55
20	3,32	3,32	3,31	3,32
40	3,02	3,02	3,01	3,02
60	3,53	3,53	3,52	3,53
80	3,30	3,30	3,29	3,30
100	3,24	3,24	3,23	3,24
120	3,50	3,50	3,51	3,50

Tabela C3.41 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	3,19	3,19	3,18	3,19
20	3,15	3,15	3,14	3,15
40	3,00	3,00	3,00	3,00
60	3,20	3,20	3,20	3,20
80	3,02	3,02	3,02	3,02
100	3,00	3,00	3,00	3,00
120	3,19	3,19	3,18	3,19

Tabela C3.42 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	2,96	2,96	2,95	2,96
20	2,93	2,93	2,92	2,93
40	2,91	2,91	2,90	2,91
60	2,83	2,83	2,82	2,83
80	2,82	2,82	2,82	2,82
100	2,81	2,81	2,80	2,81
120	2,80	2,81	2,81	2,81

Tabela C3.43 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	3,55	3,55	3,56	3,55
20	3,42	3,42	3,41	3,42
40	3,10	3,10	3,00	3,07
60	3,49	3,49	3,48	3,49
80	3,26	3,26	3,26	3,26
100	3,51	3,51	3,50	3,51
120	3,46	3,46	3,46	3,46

Tabela C3.44 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	3,19	3,19	3,18	3,19
20	3,09	3,09	3,09	3,09
40	3,05	3,05	3,05	3,05
60	3,18	3,18	3,18	3,18
80	3,12	3,12	3,11	3,12
100	3,11	3,11	3,10	3,11
120	3,18	3,18	3,17	3,18

Tabela C3.45 – Dados experimentais e valores médios do pH da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	2,96	2,96	2,95	2,96
20	2,95	2,95	2,96	2,95
40	2,94	2,94	2,95	2,94
60	2,93	2,94	2,94	2,94
80	2,95	2,94	2,94	2,94
100	2,93	2,93	2,94	2,93
120	2,92	2,93	2,93	2,93

Tabela C3.46 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	8,85	8,91	8,91	8,89
20	8,98	8,98	8,98	8,98
40	9,06	9,07	9,07	9,06
60	9,02	9,00	9,00	9,01
80	9,39	9,39	9,39	9,39
100	9,71	9,62	9,70	9,67
120	10,02	10,02	10,01	10,01

Tabela C3.47 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			Médias
	40% de polpa de umbu			
	(F2)			
0	11,32	11,32	11,32	11,32
20	11,31	11,37	11,35	11,34
40	11,73	11,70	11,69	11,70
60	11,86	11,9	11,83	11,86
80	12,58	12,58	12,58	12,58
100	12,55	12,58	12,62	12,58
120	13,09	13,09	13,09	13,09

Tabela C3.48 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			Médias
	50% de polpa de umbu			
	(F3)			
0	13,62	13,62	13,62	13,62
20	13,33	13,33	13,0	13,22
40	13,95	13,90	13,89	13,91
60	14,03	14,02	14,03	14,03
80	14,11	14,11	14,11	14,11
100	14,55	14,49	14,51	14,51
120	14,75	14,69	14,72	14,72

Tabela C3.49 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	8,85	8,91	8,91	8,89
20	8,57	8,49	8,49	8,52
40	8,88	8,86	8,86	8,87
60	9,05	9,05	9,06	9,05
80	9,08	9,07	9,07	9,07
100	9,39	9,35	9,35	9,36
120	9,42	9,42	9,41	9,42

Tabela C3.50 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	11,32	11,32	11,32	11,32
20	11,13	11,13	11,13	11,13
40	11,73	11,81	11,75	11,76
60	11,71	11,83	11,81	11,78
80	12,03	11,98	12,00	12,00
100	12,08	12,08	12,08	12,08
120	12,88	12,79	12,85	12,84

Tabela C3.51 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	13,62	13,62	13,62	13,62
20	13,17	13,17	13,17	13,17
40	13,47	13,47	13,45	13,46
60	13,98	13,82	13,95	13,92
80	14,39	14,39	14,39	14,39
100	14,18	14,15	14,15	14,16
120	14,64	14,65	14,59	14,63

Tabela C3.52 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	8,85	8,91	8,91	8,89
20	8,65	8,65	8,65	8,65
40	8,75	8,77	8,77	8,76
60	8,98	8,98	8,97	8,97
80	9,33	9,33	9,33	9,33
100	9,38	9,38	9,38	9,38
120	15,42	15,39	15,42	15,41

Tabela C3.53 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	11,32	11,32	11,32	11,32
20	11,42	11,42	11,4	11,41
40	11,44	11,43	11,43	11,43
60	11,79	11,79	11,78	11,78
80	11,73	11,73	11,72	11,73
100	13,71	13,76	13,75	13,74
120	13,79	13,75	13,8	13,78

Tabela C3.54 – Dados experimentais e valores médios da acidez total titulável da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	50% de polpa de umbu			Médias
	(F3)			
0	13,62	13,62	13,62	13,62
20	13,57	13,57	13,57	13,57
40	13,79	13,85	13,85	13,83
60	13,65	13,57	13,55	13,59
80	14,01	14,00	14,00	14,00
100	14,04	14,04	14,04	14,04
120	15,42	15,39	15,42	15,41

Tabela C3.55 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	0,48	0,48	0,48	0,48
20	0,48	0,47	0,48	0,48
40	0,49	0,47	0,47	0,48
60	0,49	0,48	0,48	0,48
80	0,48	0,47	0,48	0,48
100	0,49	0,46	0,48	0,48
120	0,48	0,49	0,48	0,48

Tabela C3.56 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	0,50	0,53	0,47	0,50
20	0,51	0,52	0,54	0,52
40	0,52	0,52	0,51	0,52
60	0,53	0,51	0,51	0,52
80	0,56	0,57	0,57	0,57
100	0,60	0,54	0,56	0,57
120	0,58	0,57	0,57	0,57

Tabela C3.57 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	50% de polpa de umbu			Médias
	(F3)			
0	0,59	0,61	0,55	0,58
20	0,59	0,57	0,57	0,58
40	0,59	0,62	0,56	0,59
60	0,61	0,58	0,57	0,59
80	0,59	0,59	0,60	0,59
100	0,58	0,61	0,58	0,59
120	0,59	0,59	0,59	0,59

Tabela C3.58 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	0,48	0,48	0,48	0,48
20	0,46	0,48	0,47	0,47
40	0,47	0,47	0,46	0,47
60	0,49	0,48	0,45	0,47
80	0,48	0,46	0,50	0,48
100	0,49	0,47	0,48	0,48
120	0,49	0,48	0,49	0,49

Tabela C3.59 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	0,50	0,53	0,47	0,50
20	0,53	0,52	0,52	0,52
40	0,51	0,51	0,55	0,52
60	0,49	0,58	0,53	0,53
80	0,56	0,54	0,53	0,54
100	0,54	0,55	0,52	0,54
120	0,55	0,54	0,54	0,54

Tabela C3.60 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	50% de polpa de umbu			Médias
	(F3)			
0	0,59	0,61	0,55	0,58
20	0,58	0,58	0,57	0,58
40	0,58	0,57	0,58	0,58
60	0,57	0,59	0,58	0,58
80	0,59	0,59	0,58	0,59
100	0,58	0,58	0,61	0,59
120	0,58	0,61	0,65	0,61

Tabela C3.61 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	0,48	0,48	0,48	0,48
20	0,47	0,49	0,48	0,48
40	0,48	0,48	0,49	0,48
60	0,47	0,49	0,48	0,48
80	0,47	0,48	0,49	0,48
100	0,48	0,47	0,48	0,48
120	0,47	0,51	0,45	0,48

Tabela C3.62 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	0,50	0,53	0,47	0,50
20	0,54	0,53	0,53	0,53
40	0,52	0,53	0,53	0,53
60	0,53	0,53	0,53	0,53
80	0,53	0,54	0,53	0,53
100	0,54	0,54	0,52	0,53
120	0,53	0,52	0,53	0,53

Tabela C3.63 – Dados experimentais e valores médios de cinzas da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	0,59	0,61	0,55	0,58
20	0,58	0,58	0,55	0,57
40	0,57	0,57	0,55	0,56
60	0,58	0,59	0,57	0,58
80	0,58	0,58	0,59	0,58
100	0,57	0,59	0,59	0,58
120	0,55	0,59	0,59	0,58

Tabela C3.64 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	30% de polpa de umbu			Médias
	(F1)			
0	80,88	80,85	80,96	80,90
20	80,82	80,80	80,89	80,84
40	80,56	80,55	80,61	80,57
60	80,56	80,51	80,42	80,50
80	80,73	80,64	80,69	80,69
100	80,77	80,66	80,71	80,71
120	80,56	80,42	80,51	80,50

Tabela C3.65 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	80,25	80,47	80,31	80,34
20	80,26	80,26	80,28	80,27
40	80,28	80,27	80,27	80,27
60	80,15	80,19	80,15	80,16
80	80,10	80,12	80,15	80,12
100	80,07	80,09	80,09	80,08
120	80,03	80,01	80,15	80,06

Tabela C3.66 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	50% de polpa de umbu			Médias
	(F3)			
0	79,59	79,89	79,71	79,73
20	79,32	79,39	79,28	79,33
40	79,31	79,28	79,35	79,31
60	79,11	79,18	79,15	79,15
80	79,19	79,11	79,13	79,14
100	79,04	79,06	79,01	79,04
120	79,00	79,02	79,04	79,02

Tabela C3.67 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	80,88	80,85	80,96	80,90
20	80,70	80,84	80,81	80,78
40	80,58	80,54	80,51	80,54
60	80,33	80,23	80,28	80,28
80	80,81	80,84	80,84	80,83
100	80,75	80,61	80,70	80,69
120	80,83	80,77	80,78	80,79

Tabela C3.68 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	80,25	80,47	80,31	80,34
20	80,18	80,21	80,21	80,20
40	80,22	80,23	80,28	80,24
60	80,21	80,23	80,21	80,22
80	80,26	80,25	80,25	80,25
100	80,21	80,24	80,15	80,20
120	80,23	80,21	80,22	80,22

Tabela C3.69 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	79,59	79,89	79,71	79,73
20	79,86	79,75	79,76	79,79
40	79,20	79,09	79,15	79,15
60	79,11	79,15	79,12	79,13
80	79,11	79,15	79,09	79,12
100	79,10	79,09	79,04	79,08
120	79,06	79,08	79,00	79,05

Tabela C3.70 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	80,88	80,85	80,96	80,90
20	80,78	80,85	80,83	80,82
40	80,85	80,84	80,79	80,83
60	80,05	80,07	80,11	80,08
80	80,62	80,60	80,59	80,60
100	80,77	80,75	80,82	80,78
120	80,81	80,77	80,83	80,80

Tabela C3.71 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	80,25	80,47	80,31	80,34
20	80,22	80,33	80,30	80,28
40	80,18	80,25	80,19	80,21
60	80,11	80,15	80,19	80,15
80	80,40	80,38	80,35	80,38
100	80,33	80,42	80,35	80,37
120	80,29	80,44	80,33	80,35

Tabela C3.72 – Dados experimentais e valores médios do teor de água da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	79,59	79,89	79,71	79,73
20	79,54	79,58	79,66	79,59
40	79,06	79,01	79,11	79,06
60	79,27	79,20	79,26	79,24
80	79,76	79,78	79,71	79,75
100	79,31	79,29	79,26	79,29
120	79,02	79,05	79,11	79,06

Tabela C3.73 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	77,56	77,73	77,39	77,56
20	75,41	76,02	75,07	75,50
40	74,65	74,45	74,76	74,62
60	74,43	74,41	74,46	74,43
80	74,50	74,01	74,05	74,19
100	74,14	74,09	74,09	74,11
120	75,33	75,53	75,28	75,38

Tabela C3.74 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	78,01	78,00	78,88	78,30
20	77,92	77,29	77,97	77,73
40	75,29	75,36	75,35	75,33
60	75,26	75,44	75,25	75,32
80	75,24	75,23	75,11	75,19
100	75,12	75,13	75,14	75,13
120	75,04	75,00	75,01	75,02

Tabela C3.75 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -20 °C e armazenada a -20 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	80,88	80,60	80,46	80,65
20	79,21	79,46	79,50	79,39
40	78,28	79,23	79,26	78,92
60	76,30	76,48	76,46	76,41
80	75,96	75,84	76,82	76,21
100	76,63	75,57	75,70	75,97
120	75,33	75,53	75,28	75,38

Tabela C3.76 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	77,56	77,73	77,39	77,56
20	76,26	76,27	75,21	75,91
40	75,21	76,40	76,37	75,99
60	75,02	75,31	76,39	75,57
80	75,04	75,05	75,19	75,09
100	74,99	74,68	74,79	74,82
120	74,89	74,77	74,46	74,71

Tabela C3.77 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu				
Tempo (dia)	e rapadura			
	40% de polpa de umbu			Médias
	(F2)			
0	78,01	78,00	78,88	78,30
20	77,22	77,21	77,37	77,27
40	77,18	77,31	77,22	77,24
60	77,21	77,25	77,23	77,23
80	77,17	77,28	77,22	77,22
100	77,21	77,21	77,18	77,20
120	77,01	77,02	77,14	77,06

Tabela C3.78 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -170 °C (vapor de nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	80,88	80,60	80,46	80,65
20	78,44	77,35	77,30	77,70
40	77,59	77,64	77,65	77,63
60	77,62	77,61	77,63	77,62
80	77,44	77,56	77,54	77,51
100	77,27	77,44	77,21	77,31
120	77,18	77,29	77,32	77,26

Tabela C3.79 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F1) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	30% de polpa de umbu (F1)			Médias
0	77,56	77,73	77,39	77,56
20	74,22	74,36	74,34	74,31
40	74,23	74,33	74,25	74,27
60	74,14	74,18	74,21	74,18
80	74,04	74,22	74,13	74,13
100	74,12	74,11	74,04	74,09
120	74,08	74,01	74,03	74,04

Tabela C3.80 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F2) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura				
Tempo (dia)	40% de polpa de umbu (F2)			Médias
0	78,01	78,00	78,88	78,30
20	78,82	77,55	78,43	78,27
40	77,46	77,35	77,46	77,42
60	77,22	77,31	77,24	77,26
80	77,09	77,11	77,16	77,12
100	77,09	77,10	77,11	77,10
120	77,08	77,02	77,01	77,04

Tabela C3.81 – Dados experimentais e valores médios do valor calórico da formulação de umbuzada (F3) congelada a temperatura de -196 °C (imersão em nitrogênio líquido) até -50 °C e armazenada a -50 °C

Tempo (dia)	Formulação de umbuzada composta por extrato de soja e polpa de umbu e rapadura			
	50% de polpa de umbu (F3)			Médias
0	80,88	80,60	80,46	80,65
20	78,64	78,28	78,24	78,39
40	78,83	78,14	78,67	78,55
60	78,62	78,36	78,31	78,43
80	78,45	78,19	78,46	78,37
100	78,38	78,23	78,19	78,27
120	78,14	78,16	78,21	78,17

APÊNDICE D-C4

Tabela D4.1 – Razão do teor de água experimental e temperatura a cada momento na secagem por liofilização das formulações congeladas a -20 °C

Tempo (h)	Razão de Temperatura (RT)		
	F1	F2	F3
0	1,00	1,00	1,00
2	0,83	0,82	0,76
4	0,67	0,64	0,54
6	0,50	0,47	0,33
8	0,35	0,32	0,14
10	0,19	0,18	0,04
12	0,06	0,07	0,03
14	0,02	0,03	0,03
16	0,01	0,02	0,02
18	0,00	0,01	0,01

Tabela D4.2 – Razão do teor de água experimental e temperatura a cada momento na secagem por liofilização das formulações congeladas a -50 °C no vapor do nitrogênio líquido

Tempo (h)	Razão de Temperatura (RT)		
	F1	F2	F3
0	1,00	1,00	1,00
2	0,87	0,81	0,76
4	0,69	0,64	0,52
6	0,52	0,47	0,28
8	0,36	0,32	0,08
10	0,20	0,20	0,02
12	0,07	0,10	0,01
14	0,02	0,03	0,01
16	0,01	0,01	0,01
18	0,00	0,00	0,00

Tabela D4.3 – Razão do teor de água experimental e temperatura a cada momento na secagem por liofilização das formulações congeladas a -50 °C imerso no nitrogênio líquido

Tempo (h)	Razão de Temperatura (RT)		
	F1	F2	F3
0	1,00	1,00	1,00
2	0,84	0,82	0,74
4	0,68	0,64	0,49
6	0,51	0,45	0,25
8	0,35	0,28	0,11
10	0,20	0,13	0,04
12	0,07	0,03	0,01
14	0,02	0,01	0,01
16	0,00	0,00	0,00

Tabela D4.4 – Análise de variância de proteína (%) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	0.10647	0.05323	16.7128 **
F2	2	24.65309	12.32654	3869.9616 **
F1 x F2	4	0.17418	0.04354	13.6709 **
Tratamentos	8	24.93373	3.11672	
Resíduo	18	0.05733	0.00319	
Total	26	24.99107		

** Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.5 – Análise de variância de carboidratos (%) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	10.93594	5.46797	42.0362 **
F2	2	8.07025	4.03513	31.0209 **
F1 x F2	4	3.82601	0.95650	7.3533 **
Tratamentos	8	22.83221	2.85403	21.9409 **
Resíduo	18	2.34140	0.13008	
Total	26	25.17361		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.6 – Análise de variância de lipídios (%) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	0.60143	0.30071	67.1572 **
F2	2	8.93765	4.46883	998.0008 **
F1 x F2	4	0.33306	0.08326	18.5951 **
Tratamentos	8	9.87214	1.23402	275.5871 **
Resíduo	18	0.08060	0.00448	
Total	26	9.95274		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.7 – Análise de variância do pH (%) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	0.41614	0.20807	34.1099 **
F2	2	1.03792	0.51896	85.0753 **
F1 x F2	4	0.01426	0.00356	0.5844 ns
Tratamentos	8	1.46832	0.18354	30.0885 **
Resíduo	18	0.10980	0.00610	
Total	26	1.57812		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.8 – Análise de variância de acidez total titulável (% ácido cítrico) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	1.44570	0.72285	491.6096 **
F2	2	24.35176	12.17588	8280.8262 **
F1 x F2	4	1.03893	0.25973	176.6436 **
Tratamentos	8	26.83639	3.35455	2281.4307 **
Resíduo	18	0.02647	0.00147	
Total	26	26.86285		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.9 – Análise de variância das cinzas (%) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	0.03672	0.01836	6.0012 *
F2	2	0.76076	0.38038	124.3378 **
F1 x F2	4	0.01650	0.00413	1.3487 ns
Tratamentos	8	0.81399	0.10175	33.2591 **
Resíduo	18	0.05507	0.00306	
Total	26	0.86905		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.10 – Análise de variância do teor de água (%) da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	0.03602	0.01801	0.4757 ns
F2	2	7.03482	3.51741	92.8985 **
F1 x F2	4	0.21829	0.05457	1.4413 ns
Tratamentos	8	7.28913	0.91114	24.0642 **
Resíduo	18	0.68153	0.03786	
Total	26	7.97067		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.11 – Análise de variância do valor calórico da umbuzada em pó liofilizada para diferentes formulações e tipos de congelamento.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
F1	2	373.00467	186.50234	725.0526 **
F2	2	1668.14970	834.07485	3242.5769 **
F1 x F2	4	171.75497	42.93874	166.9301 **
Tratamentos	8	2212.90934	276.61367	1075.3724 **
Resíduo	18	4.63007	0.25723	
Total	26	2217.53941		

** Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo